

HERMANN CRUZ DE ALBUQUERQUE

PRODUTIVIDADE E AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DO
GIRASSOL ADUBADO COM LODO DE ESGOTO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ciências Agrárias, concentração em Agroecologia, do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Agrárias.

Orientador: Prof. Regynaldo Arruda Sampaio
Coorientador: Prof. Luiz Arnaldo Fernandes

Montes Claros

2012

Albuquerque, Hermann Cruz de.
A345p Produtividade e avaliação nutricional do girassol adubado com lodo
2012 de esgoto / Hermann Cruz de Albuquerque. Montes Claros, MG:
ICA/UFMG, 2012.
71 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias, área de concentração em Agroecologia) Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

Orientador: Prof. Regynaldo Arruda Sampaio.
Banca examinadora: José Tadeu Alves da Silva, Leonardo David Tuffi Santos, Luiz Arnaldo Fernandes, Regynaldo Arruda Sampaio.

Inclui bibliografia: 64-71 f.

1. Lodo de esgoto. 2. Adubação - Girassol. I. Sampaio. Regynaldo Arruda II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 631.8

HERMANN CRUZ DE ALBUQUERQUE

**PRODUTIVIDADE E AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DO GIRASSOL
ADUBADO COM LODO DE ESGOTO**

Aprovada em 31 de agosto de 2012.

Dr. José Tadeu Alves da Silva
(EPAMIG)

Prof. Leonardo David Tuffi Santos
(ICA/UFMG)

Prof. Luiz Arnaldo Fernandes
(ICA/UFMG)

Prof. Reginaldo Arruda Sampaio
(Orientador – ICA/UFMG)

Montes Claros

2012

DEDICO

Aos meus familiares;

Aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por essa conquista.

Ao Prof. Regynaldo Arruda Sampaio, pela orientação e pela confiança para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao coorientador, Prof. Luiz Arnaldo Fernandes.

Aos demais professores e funcionários do ICA/UFMG, pela amizade e colaboração na execução do trabalho.

A Cristiane, Zuba, João Paulo, Natália, Altina, Márcio e todos os demais integrantes do NEAAR, sem os quais não teria sido possível conduzir este trabalho.

Aos meus amigos e colegas de profissão, Zuba, Daniel Saraiva e Geraldo Magela, que sempre contribuíram para esta pesquisa.

Aos meus pais, Ricardo e Lúcia, minha irmã, Laura, minha namorada, Julietta, minha madrinha, Elizabeth, e meu cunhado, Thiago, por sempre estarem ao meu lado.

A todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para conclusão dessa importante etapa da minha vida.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, pelo apoio financeiro que tornou possível a realização desta pesquisa.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2 – PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DE GIRASSOL ADUBADO COM LODO DE ESGOTO

- 1 - Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento..... 25
- 2 - Características químicas do lodo de esgoto e quantidades aplicadas de nutrientes com as diferentes doses..... 26
- 3 - Equações de regressão ajustadas entre a produtividade (PROD), o diâmetro do caule (DC), a altura da planta (ALT) e o diâmetro do capítulo (DCAP) do girassol em função das doses de lodo de esgoto aplicadas no solo..... 29
- 4 - Ajustes entre os teores de nutrientes e doses de lodo de esgoto aplicadas ao solo..... 33
- 5 - Equações de regressão relacionando os atributos químicos e índices de fertilidade com as doses de lodo de esgoto aplicadas ao solo..... 37
- 6 - Equações de regressão ajustadas entre os teores de nutrientes na folha de girassol em função das doses de lodo de esgoto aplicadas no solo..... 39

CAPÍTULO 3 – PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DE GIRASSOL CULTIVADO EM SOLO CONTENDO RESÍDUOS DE LODO DE ESGOTO

- 1 - Características químicas e físicas do solo utilizado anteriormente ao primeiro cultivo..... 46
- 2 - Características químicas do lodo de esgoto e quantidades aplicadas de nutrientes com as diferentes doses..... 48
- 3 - Equações de regressão ajustadas entre a produtividade (PROD), o diâmetro do caule (DC), a altura da planta (ALT) e o diâmetro do capítulo (DCAP) do girassol e as doses residuais de lodo de esgoto..... 50

4 - Equações de regressão ajustadas entre os teores de nutrientes no solo e as doses residuais de lodo de esgoto.....	52
5 - Equações de regressão relacionando os atributos químicos e índices de fertilidade com o efeito residual das doses de lodo de esgoto aplicadas ao solo.....	56
6 - Equações de regressão ajustadas entre os teores de nutrientes na folha de girassol e as doses residuais de lodo de esgoto.....	58
7- Intervalos de confiança das médias de produtividade, características biométricas, atributos químicos, índices de fertilidade e teores de nutrientes no solo nos dois cultivos sucessivos.....	60
8- Intervalos de confiança das médias de nutrientes na folha de girassol, nos dois cultivos sucessivos.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

COPASA/MG- Companhia de Saneamento de Minas Gerais de Minas Gerais

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETE- Estação de Tratamento de Esgoto

USEPA- United States Environmental Protection Agency

TAB- Tabela

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1 A Cultura do Girassol.....	12
2.1.1 Origem e importância socioeconômica do girassol	12
2.1.2 Características Botânicas e Morfológicas.....	13
2.1.3 Exigências Climáticas.....	14
2.1.4 Nutrição mineral do girassol.....	15
2.2 Origem e tratamento do lodo de esgoto.....	17
2.2.1 Uso agrícola do lodo de esgoto.....	18
3 OBJETIVOS.....	20
3.1 Objetivo Geral.....	20
3.2 Objetivos Específicos.....	20
CAPÍTULO 2 - PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DE GIRASSOL ADUBADO COM LODO DE ESGOTO.....	21
RESUMO.....	21
ABSTRACT.....	22
1 INTRODUÇÃO.....	23
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4 CONCLUSÃO.....	41
CAPÍTULO 3 - PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DE GIRASSOL CULTIVADO EM SOLO CONTENDO RESÍDUOS DE LODO DE ESGOTO.....	42
RESUMO.....	42
ABSTRACT.....	43

1	INTRODUÇÃO.....	44
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	46
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4	CONCLUSÃO.....	63
	REFERÊNCIAS.....	64

CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos brasileiros têm sido fortemente impactados pela intensa poluição ocorrida em centros urbanos e industriais, necessitando de rápida recuperação por meio do tratamento dos esgotos que são a principal fonte de poluição dos mananciais.

No Brasil, quase metade da população urbana não era atendida pelos serviços de esgotamento sanitário até o início do milênio (BIO, 2002), o que pressionou os governos no sentido de direcionar recursos para investimentos em saneamento básico. No Norte de Minas Gerais estão sendo implantadas mais de 40 estações de tratamento de esgotos (ETEs), sendo que, em Montes Claros, foi recém-implantada uma estação com estimativa de produção de aproximadamente 4,5 m³ por dia de lodo de esgoto, com apenas 5% de umidade. Todavia, tem surgido o problema da disposição final do lodo produzido, cujo planejamento pode atingir até 50% do orçamento operacional de um sistema de tratamento. Algumas soluções para a disposição do lodo desidratado, como em aterros sanitários, lagoas de lodo e incineração, não eliminam o problema da poluição. Dessa forma, torna-se imperiosa a busca de soluções sustentáveis para disposição final desse resíduo, sendo a sua utilização agrícola considerada a melhor alternativa do ponto de vista ambiental.

No Brasil, o lodo de esgoto já é estudado em áreas de cultivo de cana-de-açúcar (CHIBA *et al.*, 2008a; SILVA *et al.*, 1998), bem como nas culturas do eucalipto (ANDRADE; MATTIAZZO, 2000) e café (BETTIOL; CAMARGO, 2000). O uso de lodo de esgoto em oleaginosas ainda é pouco estudado, sendo o girassol e a mamona as mais pesquisadas (FIGUEIREDO; GRASSI FILHO, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2009). Diversos trabalhos demonstram o aumento da produtividade e redução no custo de produção das culturas mediante a aplicação desse resíduo. De acordo com Nascimento (2012), a produtividade do girassol aumenta com o incremento das doses de lodo de

esgoto e a aplicação de doses que fornecem a metade do nitrogênio exigido por esta cultura gera uma produtividade de grãos equivalente a observada com a aplicação da adubação química recomendada para esta oleaginosa. Em trabalho realizado com milho, Galdos *et al.* (2004) constataram aumento na produção no segundo ano da cultura adubada com lodo comparativamente ao uso da adubação química. Esses resultados assemelham-se aos obtidos por Fernandes *et al.* (2003) que relatam aumento da produção de milho da ordem de 48%, quando o lodo foi utilizado no condicionamento dos solos. Por outro lado, Nogueira *et al.* (2006) observaram que as produções de milho e de feijão consorciados não diferiram quando a adubação foi feita com lodo de esgoto ou com fertilizante mineral.

O custo elevado de fertilizantes, geralmente produzidos com o uso de energia não renovável, onera a produção das lavouras. Assim, pesquisas têm evidenciado o lodo de esgoto como alternativa para fertilização de solos agrícolas. Entretanto, o seu uso deve ser bastante controlado, uma vez que pode transportar aos solos patógenos, metais pesados e poluentes orgânicos persistentes, além de oferecer risco de contaminação do solo e lençol freático com nitrato. Nesse contexto, as informações disponíveis ainda não são suficientemente consistentes para fornecer uma base segura para o uso desse resíduo na agricultura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Cultura do Girassol

2.1.1 Origem e importância socioeconômica do girassol

O Girassol (*Helianthus Annuus* L.) é proveniente da América do Norte, podendo ser encontrado no estado selvagem desde as planícies do noroeste do Canadá até a América do Sul (UNGARO, 2000). Há cerca de 3.000 anos a.C. evidências arqueológicas mostram o uso do girassol entre os índios americanos no Arizona e no Novo México (VIEIRA, 2005).

Visto como uma planta daninha nos campos dos Estados Unidos, a teoria mais aceita é que o girassol cultivado surgiu a partir do girassol silvestre. Abrangendo do Círculo Ártico aos trópicos e do Rio Missouri ao Oceano Pacífico, o girassol foi domesticado e aproveitado como a base da alimentação dos nativos, numa ampla área (LEITE, 2005). Os índios usavam as sementes para produzir uma tinta púrpura para ornamentação de cestas e telas; além de colorir seus corpos e cabelos em cerimônias religiosas, moíam as sementes de girassol para fazer uma farinha que era utilizada na produção de pães e ferviam os capítulos e raízes para fins medicinais (VIEIRA, 2005).

O girassol é cultivado com sucesso nos cinco continentes, e figura entre as quatro principais culturas oleaginosas produtoras de óleo comestível no mundo, com grande importância na economia global (CASTRO *et al.*, 2010). É considerada uma importante fonte de proteína, podendo ser utilizada na alimentação de bovinos, suínos, equinos, caprinos e pássaros. Também pode ser utilizada no processo de rotação de culturas (GAZZONI, 2005), como pasto apícola e para fins medicinais.

A cultura do girassol destaca-se em nível mundial como a quinta oleaginosa em produção de matéria-prima, ficando atrás somente das culturas de soja, colza, algodão e amendoim. Além disso, é a quarta

oleaginosa em produção de farelo, depois da soja, colza e algodão, e terceira em produção mundial de óleo, depois da soja e colza (FAO, 2011). Os principais países produtores correspondentes à safra de 2008/2009 foram: Rússia, Ucrânia, Argentina e China que, juntos, correspondem a mais da metade (53,3%) da produção mundial, ocupando o Brasil a 27ª posição (FAO, 2011). No Brasil, em relação à safra 2010/2011, o estado do Mato Grosso corresponde à quase 70% da produção nacional de girassol e, junto com Goiás e Rio Grande do Sul, concentram mais de 90% do total produzido no País (CONAB, 2012). Em uma área de 71 mil hectares, a produção brasileira de girassol para a safra 2009/2010 foi de 1.137 kg ha⁻¹, sendo a estimativa para a safra 2011/2012 de 1.507 kg ha⁻¹ em uma área de 73,6 mil hectares (CONAB, 2012).

Na indústria de biocombustíveis, o girassol vem despontando como uma das opções mais viáveis para grande parte do território nacional. Além disso, a planta gera biodiesel que atende às normas europeias, o que abre um vasto mercado internacional (UNGARO, 2008).

2.1.2 Características Botânicas e Morfológicas

O girassol é uma eudicotiledônea herbácea, anual, que pertence à família compositae (NASCIMENTO, 2012). O desenvolvimento da planta divide-se em duas fases: a fase vegetativa que vai da germinação até o aparecimento do botão floral e a fase reprodutiva que inicia no aparecimento do botão floral e finaliza na maturação dos aquênios (CASTRO *et al.*, 1997).

O caule do girassol é ereto, geralmente não ramificado, com altura variando entre 1 e 2,5 m e com cerca de 20 a 40 folhas por planta (CASTRO, 2005). A inflorescência é um capítulo, onde se desenvolvem os grãos, denominados aquênios (FARIAS, 2005). Nos genótipos comerciais, o peso de 1.000 aquênios varia de 30 a 70 g e o número mais frequente de aquênios pode variar entre 800 e 1.700 por capítulo (CASTRO *et al.*, 1997).

O sistema radicular é pivotante e bastante ramificado e, não havendo impedimentos químicos ou físicos, explora grande profundidade de solo,

absorvendo água e nutrientes onde outras plantas normalmente não alcançam (CASTRO, 2005).

O girassol é uma planta de polinização cruzada (alógama), feita por insetos, particularmente por abelhas. Atualmente, algumas cultivares têm apresentado alto grau de autocompatibilidade, produzindo mesmo na ausência de insetos polinizadores (FARIAS, 2005).

O ciclo vegetativo do girassol varia entre 90 e 130 dias, dependendo da cultivar, da data de semeadura e das condições ambientais características de cada região (LEITE, 2005).

2.1.3 Exigências Climáticas

O girassol é uma cultura que se adapta bem a diversos ambientes, podendo tolerar temperaturas baixas e estresse hídrico. Entretanto, embora considerada uma planta rústica, para que alcance altas produtividades de grãos e óleo, é necessário que a cultura disponha de temperatura e umidades não limitantes ao ótimo desenvolvimento da planta (LEITE, 2007; PAULA JÚNIOR, 2007; VENZON, 2007).

A germinação é inibida em temperaturas do solo inferiores a 4 °C, podendo induzir a formação de plântulas pequenas, mostrando-se satisfatória com valores superiores a 10 °C. Temperaturas extremamente baixas, durante o desenvolvimento inicial, podem causar deformação das folhas e danificar o ápice da planta, provocando algumas anomalias, como ramificações do caule, menor área foliar, aumento do ciclo da cultura, atraso da floração, atraso da maturação e menor potencial produtivo (CASTRO *et al.*, 1997). Ainda segundo esses autores, a faixa de temperatura entre 10 e 34 °C é tolerada pelo girassol sem redução significativa da produção, indicando adaptação a regiões com dias quentes e noites frias. A temperatura ótima para o seu desenvolvimento situa-se na faixa entre 26 e 28 °C (NASCIMENTO, 2012).

A necessidade hídrica do girassol ainda não está perfeitamente definida, existindo informações que indicam desde menos de 200 mm até

mais de 900 mm por ciclo (CASTRO *et al.*, 1997). Contudo, na maioria dos casos, 500 a 700 mm de água, bem distribuídos ao longo do ciclo, resultam em rendimentos próximos ao máximo. A necessidade de água para o girassol vai aumentando com o desenvolvimento da planta, partindo de valores ao redor de 1,0 a 1,5 mm por dia, durante a fase da sementeira à emergência, atingindo um máximo de 6 a 7 mm por dia, na floração e no enchimento de grãos, decrescendo após esse período (CASTRO *et al.*, 1997). Ainda conforme esses autores, uma adequada disponibilidade de água durante o período da germinação à emergência é necessária para a obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas, sendo que as fases de desenvolvimento da planta mais sensíveis ao déficit hídrico são: do início da formação do capítulo ao começo da floração, quando se afeta mais a produtividade de grãos, e a formação e enchimento de grãos, quando se afeta mais a produção de óleo.

Com relação à reação da planta ao fotoperíodo, o girassol é classificado como espécie pouco afetada, o que facilita a expansão de seu cultivo no Brasil (SOUZA, 2004; OLIVEIRA, 2004; CASTIGLIONI, 2004).

2.1.4 Nutrição mineral do girassol

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes para a cultura do girassol e a sua deficiência reduz significativamente características biométricas da planta como: altura, número de folhas e diâmetro do caule, apresentando também sintomas característicos da deficiência desse nutriente (PRADO; LEAL, 2006).

A absorção do elemento fósforo apresenta uma maior intensidade na formação do capítulo e na floração (ROSSI, 1998). De acordo com Prado e Leal (2006), a omissão desse nutriente reduz a produção de matéria seca de folhas, caule e raízes do girassol, afetando também as características biométricas de crescimento.

O potássio é o nutriente exigido em maiores quantidades pelo girassol (ZOBIOLE *et al.*, 2010), sendo, após o fósforo e o nitrogênio, o

elemento que mais influencia o crescimento vegetativo dessa cultura (PRADO; LEAL, 2006). Ainda de acordo com autores citados, plantas deficientes nesse nutriente apresentam clorose nas folhas baixas na fase inicial de desenvolvimento.

O cálcio é o macronutriente exportado em menor quantidade pelo girassol (ZOBIOLE *et al.*, 2010), cuja deficiência causa encarquilhamento do limbo foliar, encurtamento de internódios e redução do crescimento da planta (PRADO; LEAL, 2006).

O magnésio é parte essencial da clorofila, sendo necessário para a formação de açúcares, ajudando o transporte de fósforo e a formação de gorduras e óleos (ROSSI, 1998). Plantas de girassol deficientes nesse elemento apresentam menor área foliar, menor produção de matéria seca e folhas amareladas (PRADO; LEAL, 2006).

O enxofre é um componente essencial de todas as proteínas vegetais, com papel importante no aumento do vigor e crescimento das plantas, além da formação de grãos na cultura do girassol (ROSSI, 1998). A deficiência desse nutriente é evidenciada por uma clorose uniforme nas folhas, avermelhamento de folhas jovens e encurtamento de internódios (PRADO; LEAL, 2006).

Os micronutrientes: zinco, ferro, cobre, boro e manganês são elementos essenciais para a nutrição das plantas e, embora sejam exigidos em menor quantidade, cumprem papel significativo para o ótimo desenvolvimento delas. Há algum tempo, verifica-se que o girassol é sensível a níveis baixos de boro no solo, apresentando com frequência nas principais regiões agrícolas do país, sintomas de deficiência nas fases de florescimento e maturação (SOUZA, 2004; OLIVEIRA, 2004; CASTIGLIONI, 2004). O boro melhora o transporte de açúcar para o caule e os grãos, influenciando na produção de sementes, uma vez que, a cultura do girassol é sensível à deficiência deste nutriente (MARCHETTI, 2001). Estudando a marcha de absorção de micronutrientes em plantas de girassol, Zobiole *et al.* (2011) verificaram que essa ocorreu em maior velocidade a partir dos 42 dias após a emergência e que o ferro foi o micronutriente mais absorvido, sendo este elemento, importante para o processo de formação da clorofila.

2.2 Origem e tratamento do lodo de esgoto

O lodo de esgoto é um material proveniente das estações de tratamento de águas residuárias (ETEs), sejam elas domiciliares, industriais ou agroindustriais. Segundo Von Sperling (1995), são considerados três sistemas de tratamentos de esgoto, os quais diferem um do outro pela capacidade da retirada de sólidos, por meio de tratamentos físico-químicos ou biológicos, de acordo com as características de cada ETE.

O tratamento primário envolve duas fases: a fase preliminar, cujo objetivo é a remoção dos sólidos grosseiros e areia, por grades e caixas de areia, e a fase de decantação ou flotação de materiais constituídos principalmente de partículas em suspensão. Os sólidos das caixas retentoras dessa fase devem ser enterrados e, aqueles retirados de decantadores devem ser digeridos adequadamente para posterior secagem e disposição em locais apropriados (VON SPERLING, 1995).

O tratamento secundário, por sua vez, destina-se à degradação biológica que pode ser via anaeróbia, aeróbia e/ou anóxica, tanto para remoção da matéria carbonácea quanto para remoção de nutrientes (GARBOSSA, 2006).

O tratamento terciário objetiva a remoção de poluentes específicos, isto é, compostos tóxicos ou não biodegradáveis, ou ainda a remoção de poluentes não removidos suficientemente no tratamento secundário (VON SPERLING, 1995).

O tratamento da parte sólida inicia-se pelo adensamento do lodo por meio físico (gravidade, flotação, centrífugas, esteira etc) para reduzir o volume de água do resíduo e a capacidade volumétrica das unidades subsequentes de tratamento como: volume dos digestores e tamanho das bombas. Em seguida é realizada a estabilização para redução da quantidade de patógenos, maus odores e putrefação, podendo ser com a utilização de cal, digestão anaeróbia, aeróbia ou compostagem.

O processo de desidratação do lodo de esgoto tem como objetivo a redução do seu volume e conseqüentemente facilitar o seu manuseio, reduzir

o custo de transporte para o local de disposição final, diminuir odores desagradáveis, diminuir a produção de chorume em aterros sanitários e facilitar o processo de incineração. Os métodos naturais de secagem mais comuns são os leitos e as lagoas de secagem de lodo, enquanto os métodos mecânicos mais utilizados são filtros prensa de esteira, centrífugas e filtros prensa de placas (ACHON *et al.*, 2008). A secagem térmica é também utilizada em algumas ETEs.

2.2.1 Uso agrícola do lodo de esgoto

As informações mais conhecidas sobre a utilização de esgotos na agricultura são originárias da China (NASCIMENTO, 2012). Todavia, a utilização de esgoto na agricultura no ocidente é realizada desde 1560, na Prússia, por meio de irrigação com efluentes de esgotos (BERTIOL; CAMARGO, 2006). Em razão do combate à epidemia da cólera, por volta de 1800 na Inglaterra foram desenvolvidos projetos para a utilização agrícola dos efluentes de esgoto.

O lodo de esgoto é uma alternativa viável para a melhoria das condições físicas e nutricionais dos solos agrícolas, recuperação de áreas degradadas e reflorestamento, uma vez que é um material rico em nutrientes e matéria orgânica (ANDREOLI *et al.*, 1999; TSUTIYA *et al.*, 2002). No entanto, por ser uma fonte de contaminantes, a sua aplicação deve ser prudente, respeitando as premissas legais para o uso agrícola do lodo de esgoto definidos na resolução nº 375 do CONAMA, que tem como foco principal a padronização do lodo e a sua viabilização agrônômica (BRASIL, 2006).

No Brasil, o lodo de esgoto já é estudado em áreas de cultivo de cana-de-açúcar (CHIBA *et al.*, 2008a; SILVA *et al.*, 1998), bem como nas culturas do eucalipto (ANDRADE; MATTIAZZO, 2000) e café (BETTIOL; CAMARGO, 2000). O uso de lodo de esgoto em oleaginosas ainda é pouco estudado, sendo o girassol e a mamona as mais pesquisadas (FIGUEIREDO; GRASSI FILHO, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2009). Na região Norte de Minas Gerais

importantes pesquisas utilizando lodo de esgoto como fonte de nutrientes foram realizadas para a cultura do girassol (NASCIMENTO, 2012) e da mamona (PRATES, 2010).

Diversos trabalhos demonstram o aumento da produtividade e redução no custo de produção das culturas mediante a aplicação deste resíduo. Em trabalho realizado com milho, Galdos *et al.* (2004) constataram aumento na produção no segundo ano da cultura adubada com lodo comparativamente ao uso da adubação química. Esses resultados se assemelham aos obtidos por Fernandes *et al.* (2003) que relatam aumento da produção de milho da ordem de 48%, quando o lodo foi utilizado no condicionamento dos solos. Por outro lado, Nogueira *et al.* (2006) observaram que as produções de milho e de feijão consorciados não diferiram quando a adubação foi feita com lodo de esgoto ou com fertilizante mineral.

De acordo com trabalho realizado por Andreoli *et al.* (1999), o retorno financeiro da adubação com lodo de esgoto é cerca de quatro vezes maior quando comparado com adubação mineral em cultivo de bracinga (*Mimosa scabrella*) consorciada com milho e feijão. Todavia, Guimarães (2009) afirma que a viabilidade do uso agrícola de lodo de esgoto está relacionada à origem dos materiais e ao tratamento ao qual foi submetido.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade da utilização agrícola do lodo de esgoto na cultura do girassol.

3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a produtividade do girassol adubado com composto de lodo de esgoto.
- Determinar a dose adequada de composto de lodo de esgoto para o cultivo de girassol.
- Avaliar o efeito do lodo de esgoto sobre os atributos químicos do solo.
- Avaliar os teores de macronutrientes e micronutrientes no solo e no tecido foliar do girassol adubado com lodo de esgoto.
- Avaliar o efeito residual do lodo de esgoto sobre a produtividade, os atributos químicos do solo e os teores foliares de nutrientes no segundo cultivo sucessivo de girassol.
- Comparar o crescimento, a produtividade e os aspectos nutricionais do girassol do primeiro e segundo cultivos.

CAPÍTULO 2 - PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DE GIRASSOL ADUBADO COM LODO DE ESGOTO

RESUMO

O lodo de esgoto é rico em matéria orgânica e nutrientes, e possui grande potencial para utilização na adubação de oleaginosas. A realização deste trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de lodo de esgoto termicamente seco sobre a fertilidade do solo, o crescimento e a produtividade do girassol (*Helianthus annuus* L.). O experimento foi realizado em área de Latossolo Vermelho Amarelo do Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da UFMG em Montes Claros-MG. Os tratamentos corresponderam a 4 doses de lodo de esgoto (0; 10; 20 e 30 t ha⁻¹, em base seca), com seis repetições, no delineamento em blocos casualizados. Foram avaliados os teores de nutrientes no solo e na planta, os índices de fertilidade do solo, o diâmetro do caule, a altura da planta, o diâmetro do capítulo e a produtividade de grãos. O diâmetro do caule, altura da planta, diâmetro do capítulo e a produtividade do girassol aumentam com o incremento das doses de lodo de esgoto. O lodo de esgoto aumenta linearmente o teor de matéria orgânica do solo e o teor de N na folha de girassol. O pH, a SB, a CTC_(t), a CTC_(T), a V%, a H+Al, o Al e os teores de P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Mn, Fe e B no solo e na folha de girassol não são influenciados pela aplicação de doses de lodo de esgoto de até 30 t ha⁻¹. Os resultados evidenciaram a importância do lodo de esgoto como fonte de N para as plantas, podendo substituir ou complementar a adubação mineral do girassol, visto que este aumenta linearmente o teor de matéria orgânica do solo e o teor de N na folha do girassol.

Palavras-chave: Oleaginosas. Biossólido. Adubação orgânica. Resíduo sólido.

CHAPTER 2 - YIELD AND NUTRITION OF SUNFLOWER FERTILIZED WITH SEWAGE SLUDGE

ABSTRACT

Sewage sludge is rich in organic matter and nutrients, and has great potential for use in fertilization of oilseeds. This study aimed to evaluate the effect of applying sewage sludge heat-dry on soil fertility, growth and productivity of sunflower (*Helianthus annuus* L.). The experiment was carried out in Red-Yellow Latosol at Institute of Agricultural Sciences (ICA/UFGM) in Montes Claros-MG. The treatments consisted of 4 doses of sewage sludge (0; 10; 20 and 30 t ha⁻¹, dry basis), with six replications, in randomized design. Evaluations were made of the nutrient levels in the soil and in the plant, the indexes of soil fertility, the stem diameter, the height plant, the head diameter and the yield. The stem diameter, height plant, head diameter and yield of the sunflower increase with increasing of doses of sewage sludge. Sewage sludge increases linearly the soil organic matter and N content in sunflower's leaf. The pH, SB, CTC_(t), CTC_(T), V%, H+Al, Al, and the contents of P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Mn, Fe and B in soil and leaf were not influenced by the application of sewage sludge doses up to 30 t ha⁻¹. The results showed the importance of sewage sludge as a source of N to plants and may replace or complement the mineral fertilization of sunflower, since that it increases linearly the soil organic matter and N concentrations in sunflower leaf.

Keywords: Oilseeds. Biosolid. Organic fertilization. Solid residue.

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos de grande parte do território brasileiro encontram-se poluídos pelo descarte de esgotos urbanos, o que causa sérios riscos à saúde da população. Neste contexto, durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio ambiente e Desenvolvimento (ECO-92), foram estabelecidas metas de 50% de atendimento à população brasileira com saneamento básico até 2015. Atualmente, no Norte de Minas Gerais foram implantadas mais de 40 estações de tratamento de esgotos (ETEs) para tratamento destes afluentes urbanos, porém, o aumento do número das ETEs gera um problema de destinação dos resíduos produzidos, visto que a disposição de matéria orgânica em aterros sanitários ou incineração também causa graves problemas ambientais (PEDROZA *et al.*, 2003). Surge então a necessidade de se buscar soluções sustentáveis para disposição final desse resíduo, sendo o seu uso agrícola considerado uma excelente alternativa do ponto de vista ambiental (GOMES *et al.*, 2006; BARBOSA *et al.*, 2007).

De acordo com Silva *et al.* (2002), Corrêa *et al.* (2005) e Lemainski e Silva (2006a), o lodo de esgoto representa uma boa fonte de matéria orgânica para o solo e de elementos essenciais às plantas, podendo complementar os fertilizantes minerais e reduzir os custos de produção. No entanto, o seu uso deve ser cuidadoso, devido a possíveis contaminações com patógenos, metais pesados e substâncias orgânicas persistentes, havendo também a possibilidade de perda de nitrato por lixiviação e contaminação do lençol freático.

O aumento da produtividade de grãos e das características biométricas da mamona com o incremento das doses de lodo de esgoto foi verificado por Nascimento *et al.* (2011). Também, aumentos significativos foram constatados na produtividade de milho e de feijão, com a aplicação de lodo de esgoto, possivelmente associado à melhoria das características químicas do solo (SIMONETE *et al.*, 2003; NASCIMENTO *et al.*, 2004). Além do nitrogênio, o lodo de esgoto no solo pode suprir parte da demanda de fósforo para culturas como a soja (VIEIRA *et al.*, 2005) e milho (GALDOS *et al.*,

2004). A aplicação de doses superiores a 30 t ha⁻¹ de lodo de esgoto em cultivo de soja aumenta a eficiência de adubação em 18%, comparada à fertilização mineral (LEMAINSKI; SILVA, 2006b), sendo viável a utilização desse resíduo como fonte de nutrientes às plantas. De acordo com Andreoli *et al.* (1999), o retorno financeiro investido em adubo é cerca de quatro vezes maior com o uso do lodo de esgoto do que com a adubação mineral em cultivos de bracatinga (*Mimosa scabrella*) consorciado com milho e feijão.

O elevado custo dos fertilizantes químicos, em razão da alta demanda de energia para a sua industrialização, aumenta os custos das lavouras, além de ser um contrassenso quando do uso na produção de grãos para biocombustíveis. Dessa forma, o lodo de esgoto, em razão de sua riqueza em nutrientes, torna-se uma alternativa viável para adubação de oleaginosas, podendo ser utilizado em substituição a fontes nitrogenadas ou como complemento desta adubação.

A realização deste trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adubação com lodo de esgoto sobre a nutrição, o desenvolvimento e a produtividade do girassol.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de abril a agosto de 2011, no ICA/UFMG, em Montes Claros-MG, latitude 16°51'38" S e longitude 44°55'00" W, em área de Latossolo Vermelho Amarelo, cujas características químicas e físicas das camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1

Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento.

Atributos do solo	Camadas (cm)			
	0-20	Classe ¹	20-40	Classe ¹
pH em água	7,00	A	5,40	Bx
P-Mehlich (mg kg ⁻¹)	19,10	MB	11,86	M
K (mg dm ⁻³)	509,00	MB	96,00	B
Ca (cmol _c dm ⁻³)	6,40	MB	3,60	B
Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,80	MB	1,30	B
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,00	MBx	0,40	Bx
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	1,36	Bx	4,52	M
SB (cmol _c dm ⁻³)	9,51	MB	5,15	B
t (cmol _c dm ⁻³)	9,51	MB	5,55	B
m (%)	0,00	MBx	7,00	MBx
T (cmol _c dm ⁻³)	10,87	B	9,66	B
V (%)	87,00	MB	53,00	M
Matéria orgânica (dag kg ⁻¹)	3,39	M	2,00	Bx
Areia grossa (dag kg ⁻¹)	6,70	-	4,40	-
Areia fina (dag kg ⁻¹)	23,30	-	25,60	-
Silte (dag kg ⁻¹)	26,00	-	16,00	-
Argila (dag kg ⁻¹)	44,00	-	54,00	-

Fonte: EMBRAPA, 1997.

¹Classes de fertilidade segundo Alvarez et al. (1999b): A - alto, MA – Muito alto, MB - Muito bom, B – bom, M – médio, Bx – baixo, MBx – muito baixo .

Foi cultivado o girassol (*Helianthus annuus* L.) híbrido simples Hélio 250. Os tratamentos corresponderam a 4 doses de lodo de esgoto (0; 10; 20 e 30 t ha⁻¹, em base seca), com seis repetições, no delineamento em blocos casualizados.

O lodo de esgoto desidratado foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto - ETE no município de Montes Claros-MG, operada pela COPASA-MG. A linha de tratamento é composta por tratamento preliminar e reator anaeróbico UASB. O lodo gerado no reator UASB foi centrifugado e desidratado em secadora térmica a 350 °C, durante 30 minutos.

As doses de lodo de esgoto foram baseadas na concentração de nitrogênio disponível neste adubo (6,0 kg t⁻¹), calculada conforme descrito na Resolução CONAMA 375 (BRASIL, 2006) e na recomendação para suprir a exigência da cultura (60 kg ha⁻¹), indicada pela 4ª Aproximação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999). As características químicas do lodo de esgoto estão descritas na Tabela 2.

TABELA 2

Características químicas do lodo de esgoto e quantidades aplicadas de nutrientes com as diferentes doses.

Lodo de esgoto (t ha ⁻¹)	pH-H ₂ O	CO	Macronutrientes (g kg ⁻¹)						
			N _{total}	N _{disp}	P	K	Ca	Mg	S
	6,64	11,62	28,60	6,00	0,77	2,56	2,70	0,27	1,69
Quantidades aplicadas (kg ha ⁻¹)									
10	-	-	286,0	60,0	7,7	25,6	27,0	2,7	16,9
20	-	-	572,0	120,0	15,4	51,2	54,0	5,4	33,8
30	-	-	858,0	180,0	23,1	76,8	81,0	8,1	50,7
Lodo de esgoto (t ha ⁻¹)	Micronutrientes (mg kg ⁻¹)								
	-	-	-	Zn	Fe	Mn	Cu	B	
	-	-	-	531,00	42.034,50	218,0	135,50	10,90	
Quantidades aplicadas (kg ha ⁻¹)									
10	-	-	-	5,31	420,35	2,18	1,36	0,11	
20	-	-	-	10,62	840,69	4,36	2,72	0,22	
30	-	-	-	15,93	1.261,04	6,54	4,08	0,33	

Fonte: TEDESCO *et al.*, 1995.

CO = Carbono orgânico (g kg⁻¹).

N_{disp} = teor de nitrogênio disponível calculado de acordo com a resolução CONAMA 375 (BRASIL, 2006).

As parcelas experimentais foram constituídas por quatro linhas de 3,0 metros de comprimento, com espaçamento entre plantas de 0,3 m e entre as linhas de 0,8 m. A área útil de cada parcela experimental foi constituída pelas duas linhas centrais (20 plantas), desprezando-se 0,5 m de cada extremidade, considerada bordadura.

No preparo do solo foram realizadas em sequência operações mecânicas de gradagem e abertura de sulcos na profundidade de 20 cm. A adubação foi realizada em uma única etapa nos sulcos de plantio, utilizando-se o lodo de esgoto conforme os tratamentos estabelecidos, sendo a incorporação feita com enxada. Foram semeadas manualmente 3 sementes de girassol a cada 30 cm e, ao completar 15 dias após a emergência, foi realizado um desbaste deixando-se apenas uma planta. Aos 30 e 60 dias após o plantio foram efetuadas capinas manuais para controle de plantas daninhas. Durante o ciclo da cultura foi realizada irrigação por aspersão.

No início do florescimento da cultura, foram coletadas amostras de folhas do terço superior de 12 plantas, escolhidas aleatoriamente na parcela útil, para análises dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Mn, Fe e B (TEDESCO *et al.*, 1995; MALAVOLTA *et al.*, 1997; OLIVEIRA, 2004).

Ao final do experimento, na fase de colheita (R9), quando os capítulos encontravam-se voltados para baixo, foram avaliados na área útil de cada parcela: diâmetro do caule, altura da planta, diâmetro do capítulo e produtividade de grãos. O diâmetro do caule foi avaliado rente ao solo com a utilização de paquímetro digital. A altura da planta foi medida com uma trena desde a superfície do solo até o ápice da planta. O diâmetro do capítulo foi medido por meio de uma fita métrica e a produtividade dos grãos foi estimada por meio do peso dos grãos aferido em balança de precisão, sendo seus valores extrapolados para 1 hectare.

Após a colheita, foram retiradas, entre plantas, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, 8 subamostras de solo por parcela para formarem amostras compostas para análises de matéria orgânica, pH, P, K, Ca, Mg, S, H+Al, Al, Zn, Cu, Mn, Fe e B (TEDESCO *et al.*, 1995; EMBRAPA, 1997) e a realização dos cálculos de soma de bases (SB), CTC efetiva ($CTC_{(t)}$), CTC potencial ($CTC_{(T)}$) e saturação por bases (V).

Foi realizada uma análise exploratória dos dados aplicando-se testes de homogeneidade e normalidade. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância e as doses de lodo de esgoto ajustadas a modelos de regressão, testando-se os coeficientes até 10% de probabilidade pelo teste t. Realizou-se análise de correlação de Pearson entre diâmetro do capítulo e produtividade. Para análise de variância e correlação de Pearson foi utilizado o software SAEG-2007, e para o ajuste das regressões o software Tablecurve (JANDEL SCIENTIFIC, 1991).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade de grãos de girassol aumentou linearmente com a aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto de até 30 t ha⁻¹ (TAB. 3). O valor máximo de produtividade obtido superou a média nacional prevista para safra 2010/2011, conduzida no manejo irrigado e de sequeiro, conforme a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2012). Segundo Nascimento *et al.* (2011), em pesquisa realizada com mamona, a adubação com 60 t ha⁻¹ de lodo de esgoto proporcionou produtividade de 2.800 kg ha⁻¹, sendo maior que a média nacional no ano de 2008. Conforme Caldeira júnior *et al.* (2009), o aumento na produtividade de plantas com aplicação de lodo de esgoto pode ser atribuído ao aumento na disponibilidade de nutrientes e na melhoria das condições físicas do solo, proporcionados pela adição de matéria orgânica.

TABELA 3

Equações de regressão ajustadas entre a produtividade (PROD), o diâmetro do caule (DC), a altura da planta (ALT) e o diâmetro do capítulo (DCAP) do girassol em função das doses de lodo de esgoto aplicadas no solo.

VARIÁVEL	EQUAÇÃO	R ²	DL (t ha ⁻¹)	VM	MP
PROD (kg ha ⁻¹)	Y = 1168,95 + 10,159721***X	0,8918	30,00	1.473,70	1.250,0
DC (mm)	Y = 20,46 + 0,47169***X	0,9984	30,00	34,62	-
ALT (m)	Y = 1,65 + 0,009234***X	0,9881	30,00	1,93	-
DCAP (cm)	Y = 15,02 + 0,007049***X ²	0,9288	30,00	21,3	-

Fonte: Do autor.

DL = dose de lodo de esgoto que resultou nos valores máximos da variável.

VM = Valor máximo da variável dentro do intervalo experimental.

MP = Média brasileira prevista de produtividade do girassol (irrigado e sequeiro) para a safra 2010/2011 em kg ha⁻¹ (CONAB, 2012).

***Significativos a 0,1% de probabilidade pelo teste t.

O diâmetro do caule do girassol aumentou linearmente com o incremento da dose de lodo de esgoto, sendo o maior valor, 34,62 mm, observado quando aplicada a dose máxima desse resíduo (TAB. 3). Guimarães (2009), em pesquisa onde se avaliou o crescimento inicial de pinhão-manso em função de diferentes doses e fontes de adubos, verificou maior resposta para diâmetro do caule na dose de lodo mais elevada, de 340 kg ha⁻¹. Por outro lado, Prates *et al.* (2011) não constataram aumento no diâmetro do caule de plantas de pinhão-manso adubadas com lodo de esgoto, em doses de até 19,2 t ha⁻¹. De acordo com Torres Netto *et al.* (2006) e Modesto *et al.* (2009), o aumento do diâmetro do caule reflete o aumento do sistema radicular, caracterizando maior volume de solo explorado pelas raízes das plantas, que tendem a apresentar um estado nutricional melhor e uma maior resistência ao déficit hídrico.

Em relação à altura das plantas, também houve aumento linear com o incremento das doses de lodo de esgoto (TAB. 3). Este resultado é corroborado por Backes *et al.* (2009), que obtiveram resposta linear da mamoneira à aplicação de até 32 t ha⁻¹ de lodo de esgoto. Zuba Junio *et al.* (2011) também verificaram aumento na altura das plantas de mamona quando aplicada a dose máxima de 60 t ha⁻¹. Contudo, Prates (2011) não constatou diferenças em alturas de plantas de pinhão-manso adubadas com doses crescentes de lodo de esgoto de até 19,2 t ha⁻¹. Pode-se explicar o melhor crescimento em altura da planta com a aplicação de lodo de esgoto em razão da melhoria nas condições físicas e químicas do solo (MELO *et al.*, 2004; ALVES *et al.*, 2007; MEURER, 2007; NASCIMENTO, 2012), que são essenciais ao rápido crescimento de plantas.

De forma semelhante às demais características biométricas, o diâmetro do capítulo aumentou com o incremento das doses de lodo aplicadas (TAB. 3). Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Figueiredo *et al.* (2007) que verificaram valores médios superiores no diâmetro do capítulo do girassol no tratamento que recebeu dose mais elevada de lodo de esgoto, da ordem de 30,4 t ha⁻¹. Ainda segundo esses autores, a adubação com lodo de esgoto aumentou a disponibilidade de nitrogênio para a cultura do girassol, influenciando o crescimento do capítulo

da planta. Nobre *et al.* (2010) destacam que o crescimento do capítulo tem implicação direta no número potencial de aquênios, o que ratifica os resultados obtidos neste trabalho, que apresentou correlação positiva e significativa ($r = 0,92^{**}$) entre diâmetro do capítulo e produtividade de grãos.

Na tabela 4, observa-se que os teores de nutrientes no solo, no final do cultivo, não variaram com as doses de lodo de esgoto aplicadas. Comportamento semelhante foi observado por Nascimento (2012) no cultivo de girassol, o qual constatou que a adubação com lodo de esgoto não influenciou os teores de K, Ca e S no solo. Fato possivelmente associado à liberação mais lenta dos nutrientes, por se tratar de resíduo orgânico contendo substâncias orgânicas persistentes, e à maior extração do nutriente em razão da maior produtividade de grãos com a aplicação de lodo de esgoto. Além disso, Nascimento *et al.* (2011) ressaltam que o lodo de esgoto é uma fonte importante de N para as plantas, porém, não contém as quantidades necessárias dos demais macronutrientes, sendo necessária a complementação com outras fontes.

A disponibilidade de K no solo antes da implantação do experimento (TAB. 1) foi classificada, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, respectivamente, como muito bom e bom (CFSEMG, 1999). Com aplicação das doses de 10; 20 e 30 t ha⁻¹ foram adicionadas ao solo, respectivamente 25,6; 51,2; 76,8 kg ha⁻¹ desse nutriente, que se aproximam ou superam em muito a quantidade de K recomendada pela 5ª Aproximação da Recomendação de Corretivos e Fertilizantes de Minas Gerais, que é de 24,9 kg ha⁻¹ de K₂O. Apesar do aumento das quantidades de K adicionadas com o lodo de esgoto, os teores K no solo foram semelhantes em todos os tratamentos (TAB. 4), porém, inferiores aos teores no solo antes da implantação do experimento (TAB. 1). Tal fato pode ser explicado por ser o potássio o elemento mais exigido pela cultura do girassol (ZOBIOLE *et al.*, 2010); todavia, a classificação de muito bom e bom se manteve para as camadas de 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade, respectivamente.

A disponibilidade de P no solo, antes da implantação do experimento (TAB. 1), foi classificada como muito boa e média (CFSEMG, 1999) nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, respectivamente. Após a

aplicação de 10; 20 e 30 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, foram adicionados ao solo, respectivamente, 7,7; 15,4 e 23,1 kg ha⁻¹ de P, o que é próximo ou supera em muito os 13,0 kg ha⁻¹ deste elemento, recomendado pela 5ª Aproximação da Recomendação de Corretivos e Fertilizantes de Minas Gerais. No final do cultivo, independentemente da adição de lodo, constatou-se aumento na disponibilidade de P no solo, comparada à condição observada antes da instalação do experimento, na camada de 20-40 cm de profundidade, havendo mudança na classificação de médio para bom, nesta profundidade (TAB.4). Estes resultados divergem dos obtidos por Nascimento (2012), que em seu trabalho com girassol, verificou que, apesar do aumento das quantidades de fósforo aplicadas, houve uma redução dos teores disponíveis deste elemento no solo nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade. Afirma ainda que os resultados podem estar relacionados a uma liberação mais lenta de P, por se tratar de resíduo orgânico recalcitrante, e a uma maior extração do nutriente em razão da maior produtividade de grãos.

TABELA 4

Ajustes entre os teores de nutrientes e doses de lodo de esgoto aplicadas ao solo.

Nutriente	Prof.	Ajustes ¹	Classe ²
P (mg dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 29,03	MB
	(20-40 cm)	Y = Ym = 16,92	B
K (mg dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 142,25	MB
	(20-40 cm)	Y = Ym = 93,25	B
Ca (cmol _c dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 7,88	MB
	(20-40 cm)	Y = Ym = 5,32	MB
Mg (cmol _c dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 1,47	B
	(20-40 cm)	Y = Ym = 1,20	B
S (mg dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 32,92	MB
	(20-40 cm)	Y = Ym = 36,47	MB
Cu (mg dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 0,98	M
	(20-40 cm)	Y = Ym = 0,76	M
Zn (mg dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 4,77	A
	(20-40 cm)	Y = Ym = 1,76	B
Mn (mg dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 16,36	A
	(20-40 cm)	Y = Ym = 5,77	M
Fe (mg dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 75,60	A
	(20-40 cm)	Y = Ym = 60,64	A
B (mg dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 0,22	Bx
	(20-40 cm)	Y = Ym = 0,11	MBx

Fonte: Do autor.

¹Não houve ajuste de equações com coeficientes significativos. Ym = valor médio.

²Classes de fertilidade segundo Alvarez et al. (1999b): A - alto, MA – Muito alto, MB - Muito bom, B – bom, M – médio, Bx – baixo, MBx – muito baixo.

Em relação ao Ca, após a aplicação das doses de 10; 20 e 30 t ha⁻¹, foram adicionadas ao solo, respectivamente, 27; 54 e 81 kg ha⁻¹ desse nutriente. A classificação nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade como muito bom e bom (TAB. 1) mudou para muito bom (CFSEMG, 1999)

nas duas profundidades avaliadas após aplicação do lodo de esgoto (TAB. 4). De acordo com Zobiole *et al.* (2010), o Ca é o segundo elemento mais extraído pela cultura do girassol, atingindo valores próximos de 116 kg ha⁻¹ para uma produtividade de 3,0 t ha⁻¹.

A disponibilidade de Mg no solo, antes da implantação do experimento (TAB.1), foi classificada como muito bom e bom nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, respectivamente (CFSEMG, 1999). Com a aplicação das doses de 10; 20 e 30 t ha⁻¹ de lodo de esgoto foram adicionadas ao solo 2,7; 5,4 e 8,1 kg ha⁻¹ desse nutriente. Houve uma redução na disponibilidade desse nutriente nas camadas de 0-20 cm (TAB. 4) em relação aos observados na análise anterior ao experimento, e a sua classificação de acordo a CFSEMG (1999) mudou de muito bom para teores considerados bons. Diferente dos resultados obtidos neste trabalho, Nascimento (2012) verificou aumento nos teores de Mg no solo quando se aplicou a dose máxima de 29,04 t ha⁻¹ de lodo de esgoto.

A disponibilidade de S no solo foi classificada como muito bom em ambas as camadas do solo (TAB. 4). Observa-se na Tabela 2 que, somente a partir da dose de 20 t ha⁻¹, a quantidade de S aplicada atingiu o valor próximo de 30 kg ha⁻¹, recomendado pela 5ª Aproximação da Recomendação de Corretivos e Fertilizantes de Minas Gerais para adubação de girassol.

Conforme observado na Tabela 4, os teores disponíveis de Zn, Mn e Fe no solo foram classificados, pela CFSEMG (1999), como variando de bons, médios a altos, enquanto o Cu apresentou valor médio e o B foi classificado como baixo e muito baixo, respectivamente, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm. Pelo exposto na Tabela 2, todas as doses de lodo de esgoto aplicadas forneceram quantidades de Zn que superaram os 4 kg ha⁻¹, recomendados para a adubação do girassol, conforme a 5ª Aproximação da Recomendação de Corretivos e Fertilizantes de Minas Gerais. No caso do B, mesmo a maior dose aplicada de lodo esgoto transportou ao solo apenas 0,33 kg ha⁻¹, o que corresponde a aproximadamente 1/3 da quantidade recomendada pela 5ª Aproximação da Recomendação de Corretivos e Fertilizantes de Minas Gerais para a adubação do girassol, que é de 1 kg ha⁻¹. Segundo Souza *et al.* (2004), o girassol é considerado exigente em boro e

mostra pouca eficiência no aproveitamento deste nutriente, enquanto, Marchetti *et al.* (2001), afirmam que o B é fundamental para o crescimento do girassol, influenciando na produção de massa seca, sendo o nível de 2 kg ha^{-1} o que proporciona maior rendimento de grãos.

O Fe foi o microelemento mais concentrado no lodo de esgoto, cujas doses de 10; 20 e 30 t ha^{-1} adicionou ao solo quantidades respectivas de 0,42; 0,84 e $1,26 \text{ t ha}^{-1}$ de Fe (TAB. 2), o que representa uma quantidade elevada desse elemento levada ao solo. Todavia, face às reações de insolubilização deste elemento em pH mais próximo da alcalinidade, ao poder complexante da matéria orgânica e a rápida oxidação do Fe ao ser liberado da matéria orgânica, conforme descrito por Cunha *et al.* (2011), nenhum efeito se observou sobre o solo com a aplicação de lodo (TAB. 4). Nascimento (2012) constatou que, embora o Fe tenha sido o metal que se apresentou em maior concentração no lodo de esgoto, não houve influência deste resíduo sobre os teores disponíveis desse elemento no solo.

O teor de matéria orgânica do solo, no final do cultivo, aumentou com o incremento das doses de lodo de esgoto na camada de 0-20 cm de profundidade (TAB. 5), atingindo o valor máximo com a dose de 30 t ha^{-1} desse resíduo. Resultados semelhantes foram obtidos por Nascimento *et al.* (2004) e Antolin *et al.* (2005), os quais verificaram aumento nos teores de matéria orgânica do solo com a adição do lodo de esgoto. Constata-se, ainda, que os teores de matéria orgânica do solo, que antes da instalação do experimento eram de 3,39 e $2,00 \text{ dag kg}^{-1}$ nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, respectivamente, com a classificação de média e baixa, tiveram seus teores elevados para 3,62 e $2,10 \text{ dag kg}^{-1}$, proporcionando mudança na classificação da camada de 20-40 cm respectivamente, de baixo para médio, de acordo com Alvarez *et al.* (1999). Chiba *et al.* (2008), em trabalho realizado com a cultura da cana-de-açúcar, também verificaram aumentos nos teores de matéria orgânica do solo com aplicação de lodo de esgoto.

Em relação ao pH do solo (TAB. 5), não houve influência da aplicação do lodo de esgoto sobre essa variável, no final do cultivo. Constatou-se, entretanto, uma alteração na classificação agrônômica na camada de 20-40

cm de profundidade, que passou de níveis baixos para valores considerados altos. Esse aumento na camada de 20-40 cm pode estar relacionado à utilização de água calcária para irrigação deste experimento, que apresentava as seguintes características: pH = 7,6; condutividade elétrica = $468 \mu\text{S cm}^{-1}$ e dureza total e $\text{CaCO}_3 = 222 \text{ mg L}^{-1}$. Estes resultados corroboram os obtidos por Nascimento (2012), que verificou aumento de pH em relação aos valores observados antes da instalação do experimento, em razão da irrigação com água de origem calcária.

Os tratamentos com lodo de esgoto também não influenciaram a soma de bases (K, Ca e Mg) do solo no final do cultivo (TAB. 5); entretanto, os valores médios observados de 9,8 e 6,6 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, respectivamente, foram superiores aos observados antes da instalação do experimento, (9,51 e 5,15 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) nas camadas avaliadas, ocorrendo uma mudança na classificação agrônômica na camada de 20-40, que passou de bom para muito bom de acordo com Alvarez *et al.* (1999), podendo esse fato ser atribuído a uma contribuição no fornecimento desses nutrientes pela água utilizada para irrigação deste experimento, visto que o aumento foi observado também no tratamento sem aplicação de lodo de esgoto.

Em relação a $\text{CTC}_{(t)}$ e $\text{CTC}_{(T)}$, não houve influência dos tratamentos com lodo de esgoto para estas variáveis, em nenhuma das profundidades analisadas (TAB 5). Antes da instalação do experimento não havia alumínio trocável na camada 0-20 cm e, na camada de 20-40 cm, os teores foram considerados baixos, da ordem de 0,4 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Considerando-se que o lodo de esgoto não influenciou os teores de Al, H+Al e soma de bases nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, explica-se a influência nula das doses de lodo sobre a $\text{CTC}_{(t)}$ e $\text{CTC}_{(T)}$. Todavia, Ciotta et al. (2004) afirmam que a presença de alumínio e a elevada capacidade de complexação desse elemento pelos ácidos orgânicos decorrentes da decomposição da matéria orgânica pode reduzir a $\text{CTC}_{(t)}$ e $\text{CTC}_{(T)}$ do solo.

TABELA 5

Equações de regressão relacionando os atributos químicos e índices de fertilidade com as doses de lodo de esgoto aplicadas ao solo.

Variável	Prof.	Equação	R ²	DL (t ha ⁻¹)	TNS	TMP	Classe ¹
MO (%)	(0-20 cm)	$Y = 2,72 + 0,001338 \cdot X^2$	0,9922	30,00	3,9	3,9	M
	(20-40 cm)	$Y = Ym = 2,1$	-	-	2,1	2,1	M
pH	(0-20 cm)	$Y = Ym = 6,9$	-	-	6,9	6,9	A
	(20-40 cm)	$Y = Ym = 6,7$	-	-	6,7	6,7	A
SB (cmol _c dm ⁻³)	(0-20 cm)	$Y = Ym = 9,8$	-	-	9,8	9,8	MB
	(20-40 cm)	$Y = Ym = 6,6$	-	-	6,6	6,6	MB
CTC _(t) (cmol _c dm ⁻³)	(0-20 cm)	$Y = Ym = 9,8$	-	-	9,8	9,8	MB
	(20-40 cm)	$Y = Ym = 6,6$	-	-	6,6	6,6	B
CTC _(T) (cmol _c .d m ⁻³)	(0-20 cm)	$Y = Ym = 10,7$	-	-	10,70	10,70	B
	(20-40 cm)	$Y = Ym = 8,62$	-	-	8,62	8,62	B
V (%)	(0-20 cm)	$Y = Ym = 91,4$	-	-	91,45	91,45	MB
	(20-40 cm)	$Y = Ym = 75,8$	-	-	75,80	75,80	B
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	(0-20 cm)	$Y = Ym = 0,00$	-	-	0,00	0,00	MBx
	(20-40 cm)	$Y = Ym = 0,03$	-	-	0,03	0,03	MBx
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	(0-20 cm)	$Y = Ym = 0,9$	-	-	0,9	0,9	MBx
	(20-40 cm)	$Y = Ym = 2,0$	-	-	2,0	2,0	Bx

Fonte: Do autor.

DL = dose de lodo de esgoto para atingir maior concentração no solo.

TNS = Valor máximo no solo.

TMP = Valor no solo com a aplicação da dose de lodo de esgoto que gerou máxima produtividade.

Ym = valor médio; Prof. = profundidade.

¹ Classes de fertilidade segundo Alvarez et al. (1999b): A - alto, MA – Muito alto, MB - Muito bom, B – bom, M – médio, Bx – baixo, MBx – muito baixo .

* Significativo a 5 % de probabilidade pelo teste t.

Os tratamentos com lodo de esgoto também não influenciaram a V% nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade (TAB. 5), o que está relacionado à não influência desse resíduo em relação à soma de bases, $CTC_{(t)}$ e $CTC_{(T)}$ do solo, conforme já mencionado.

O teor foliar de N foi influenciado pela aplicação de lodo de esgoto, tendo alcançado valor superior ao considerado adequado, quando da aplicação de 30 t ha^{-1} deste resíduo (TAB. 6). O lodo é reconhecidamente uma fonte importante de N para as culturas, sendo o elemento determinante no cálculo de adubação, conforme estabelecido na Resolução CONAMA 375 (BRASIL, 1996). Contudo, dependendo da fertilidade do solo, geralmente requer complementação de adubação com outros nutrientes (CORRÊA *et al.*, 2005; NASCIMENTO, 2012).

Assim como observado para o solo, verificou-se que os teores de P, K, Ca, Mg e S na folha de girassol não foram influenciados pela aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto (TAB. 6). Apesar disso, os teores de P, K e Ca na planta são considerados adequados (MALAVOLTA *et al.*, 1997), enquanto Mg e S ficaram abaixo da faixa recomendada, evidenciando que estes dois elementos podem ter sido limitantes em relação ao crescimento e desenvolvimento da planta.

Em relação aos micronutrientes (TAB. 6), a aplicação de lodo de esgoto também não resultou em aumentos foliares, porém, à exceção do Cu, todos ficaram dentro da faixa de suficiência de nutrientes para a planta, de acordo Oliveira (2004). Para os elementos Cu, Fe, Mn, resultados semelhantes foram obtidos por Lobo e Grassi filho (2009), os quais não verificaram aumentos nos teores foliares desses elementos com a aplicação de lodo de esgoto. Estes resultados, entretanto, divergem dos obtidos por Prates (2010), que constatou aumento nos teores de Zn, Fe, Mn e Cu no tecido foliar de pinhão-manso com o incremento de doses de lodo de esgoto. Vale ressaltar que, em razão do elevado poder de complexação de metais da matéria orgânica do lodo, do pH do solo próximo da alcalinidade, da irrigação com água de origem calcária e da elevada absorção de ferro pela planta, pode ter havido inibição do Cu pela planta (MALAVOLTA, 1997).

TABELA 6

Equações de regressão ajustadas entre os teores de nutrientes na folha de girassol em função das doses de lodo de esgoto aplicadas no solo.

Nutriente	EQUAÇÃO	R ²	DL (t ha ⁻¹)	TNP	FS ¹	FS ²
N (dag kg ⁻¹)	Y = 3,46 + 0,03625***X	0,971 5	30,00	4,54	3,3 – 3,5	-
P (dag kg ⁻¹)	Y = Ym = 0,57	-	-	0,57	0,4 – 0,7	-
K (dag kg ⁻¹)	Y = Ym = 2,52	-	-	2,52	2,0 – 2,4	-
Ca (dag kg ⁻¹)	Y = Ym = 3,17	-	-	3,17	1,7 – 2,2	-
Mg (dag kg ⁻¹)	Y = Ym = 0,4	-	-	0,4	0,9 – 1,1	-
S (dag kg ⁻¹)	Y = Ym = 0,3	-	-	0,3	0,5 – 0,7	-
Zn (mg kg ⁻¹)	Y = Ym = 44,1	-	-	44,1	-	30 – 80
Cu (mg kg ⁻¹)	Y = Ym = 17,8	-	-	17,8	-	25 – 100
Mn (mg kg ⁻¹)	Y = Ym = 38	-	-	38	-	10 – 20
Fe (mg kg ⁻¹)	Y = Ym = 558	-	-	558	-	80 – 120
B (mg kg ⁻¹)	Y = Ym = 51,4	-	-	51,4	-	35 – 100

Fonte: Do autor.

DL = dose de lodo de esgoto que resultou na maior concentração de nutriente na planta.

TNP = teor máximo de nutriente na planta.

¹ Faixa de suficiência de nutrientes na planta, de acordo com Malavolta et al. (1997).

² Faixa de suficiência de nutrientes na planta, de acordo com Oliveira (2004).

*** Significativo a 0,1 % de probabilidade pelo teste t.

A limitação dos nutrientes Mg, S e Cu pode explicar a resposta linear da produtividade do girassol com a aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto. Nessa situação, manifesta-se a Lei do Mínimo, na qual o nutriente presente em menor quantidade tende a ter efeito limitante sobre o crescimento e produtividade da planta. Este comportamento em relação à

adubação utilizando somente lodo de esgoto tem sido constatado em outros estudos, como o de Nascimento (2012).

4 CONCLUSÃO

O diâmetro do caule, a altura da planta, o diâmetro do capítulo e a produtividade do girassol aumentam com o incremento das doses de lodo de esgoto.

O lodo de esgoto aumenta linearmente o teor de matéria orgânica do solo e o teor de N na folha de girassol.

O pH, a SB, a $CTC_{(t)}$, a $CTC_{(T)}$, a V%, a H+Al, o Al e os teores de P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Mn, Fe e B no solo e na folha de girassol não são influenciados pela aplicação de doses de lodo de esgoto de até 30 t ha^{-1} .

CAPÍTULO 3 - PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DE GIRASSOL CULTIVADO EM SOLO CONTENDO RESÍDUOS DE LODO DE ESGOTO

RESUMO

A aplicação de lodo de esgoto em solos agrícolas pode resultar no acúmulo de matéria orgânica resistente a decomposição, tornando possível a liberação de nutrientes no solo por períodos mais longos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, a produtividade e os teores de nutrientes no solo e em girassol (*Helianthus annuus* L.) cultivado em solos contendo resíduos de adubação com lodo de esgoto. O experimento foi realizado em área de Latossolo Vermelho Amarelo do ICA/UFMG, em Montes Claros - MG. O girassol foi plantado em área adubada com lodo de esgoto e que havia sido anteriormente cultivada com girassol. Os tratamentos consistiram dos resíduos das doses de lodo de esgoto (0; 10; 20 e 30 t ha⁻¹, em base seca), em seis repetições, que foram aplicadas no primeiro cultivo do girassol. Foram avaliados os teores de nutrientes no solo e na planta, os índices de fertilidade do solo, o diâmetro do caule, a altura da planta, o diâmetro do capítulo e a produtividade de grãos. O diâmetro do caule, a altura da planta, o diâmetro do capítulo e a produtividade do girassol aumentaram com o incremento de lodo de esgoto, sendo os valores máximos observados na dose de 30 t ha⁻¹. Os teores de matéria orgânica e de nutrientes no solo, exceto cálcio e magnésio, não foram influenciados pelo efeito residual da adubação com lodo de esgoto. Os teores de cálcio e magnésio, o pH, a SB, a CTC_(t), a CTC_(T) e a V% aumentaram, enquanto o H+Al diminuiu com o incremento das doses residuais de lodo de esgoto. Os teores foliares de nutrientes não foram influenciados pelo efeito residual dos tratamentos com lodo de esgoto, exceto para manganês e ferro, que diminuíram com o incremento das doses residuais de lodo de esgoto. Houve redução na produtividade e nas características de crescimento do girassol no segundo cultivo, recomendando-se novas adubações com lodo de esgoto a cada plantio.

Palavras-chave: Oleaginosas. Biossólido. Adubação orgânica.

CHAPTER 3 - YIELD AND NUTRITION OF SUNFLOWER GROWN IN SOIL CONTAINING RESIDUES OF SEWAGE SLUDGE

ABSTRACT

The application of sewage sludge in soil may accumulate organic matter resistant to decomposition, making possible to release nutrients on the soil for longer times. The aim of this study was to evaluate growth, yield and nutrient levels in the soil and in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) grown in soils containing residues of fertilizing with sewage sludge. The experiment was carried out in Red-Yellow Latosol at ICAUFMG, in Montes Claros-MG. Sunflower was cultivated in the area fertilized with sewage sludge that had been previously planted with sunflower. The treatments consisted of residual doses of sewage sludge (0; 10; 20 and 30 t ha⁻¹, on a dry basis), in six replications, which were applied in the first cultivation of the sunflower. We evaluated the levels of nutrients in the soil and in plant, soil fertility index, stem diameter, height plant, head diameter and yield. The stem diameter, plant height, head diameter and the sunflower yield increased with the increase of sewage sludge, being the maximum values observed at dose of 30 t ha⁻¹. The levels of organic matter and nutrients in the soil, except for calcium and magnesium, were not influenced by the residual effect of fertilization with sewage sludge. The levels of calcium and magnesium, pH, SB, CTC(t), CTC(T) and V% increased, while H+Al decreased with increasing of residual doses of sewage sludge. The leaf levels of nutrient were not influenced by the residual effects of sewage sludge treatments, except for iron and manganese, decreased with the increase of the sewage sludge residual doses. There was reduction on yield and growth characteristics of sunflower in the second cultivation, recommending new fertilization with sewage sludge every planting.

Keywords: Oilseeds, Biosolid, Organic fertilization.

1 INTRODUÇÃO

O aumento no volume de lodo gerado, em razão da ampliação e construção de estações de tratamento de esgoto nos municípios brasileiros, torna preocupante a sua disposição final, sendo imprescindível a busca de soluções sustentáveis para o destino final deste resíduo (BIONDI, 2005).

A utilização na agricultura é uma boa alternativa para o lodo de esgoto, uma vez que contém teores elevados de matéria orgânica e de elementos essenciais às plantas, podendo complementar fertilizantes minerais e reduzir os custos de produção (LEMANSKI; SILVA, 2006a). Além disso, o uso agrícola do lodo de esgoto possibilita o retorno ao campo dos resíduos orgânicos produzidos em regiões urbanas, aumentando a sustentabilidade da agricultura e distinguindo-se como a solução mais adequada e sustentável para a destinação final deste resíduo (BARBOSA *et al.*, 2007).

O efeito positivo do uso do lodo de esgoto na agricultura pode ser visto no trabalho de Lemainski e Silva (2006b), os quais constataram, em soja, maior eficiência da adubação com lodo de esgoto comparada à adubação mineral. Além disso, Silva *et al.* (2002a) relatam maior efeito residual do lodo de esgoto, liberando nutrientes por períodos mais longos e favorecendo cultivos sucessivos.

Lemainski e Silva (2006a) observaram que o efeito residual da aplicação de lodo de esgoto no cultivo de milho foi mais significativo na dose de 30 t ha⁻¹, proporcionando uma produtividade de 77% das obtidas no primeiro cultivo, sendo 22% mais eficiente que o fertilizante mineral, ressaltando assim a importância da utilização do lodo de esgoto como fonte fornecedora residual de nutrientes. Também, Costa *et al.* (2009) avaliaram o mesmo efeito residual no crescimento de milho cultivado em sucessão à cultura da mamona e constataram que o milho apresentou crescimento idêntico para as doses residuais de 75 e 150 kg ha⁻¹, enquanto Barbosa *et al.* (2007) verificaram, após dois anos de cultivo de aveia e milho adubados com lodo de esgoto caleado, efeito residual deste resíduo na produtividade de milho safrinha cultivado em sucessão, atingindo os melhores resultados com

a dose de 36 t ha⁻¹. Ainda dentro deste contexto, Godoi et al. (2008) verificaram efeito residual benéfico do biossólido sobre os componentes químicos, físicos e biológicos de solo degradado, uma vez que somente no segundo corte de *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão, ocorrido aos 273 dias após a primeira colheita e aos 423 dias do início do cultivo, houve incremento da produtividade da planta.

Diante do exposto, em razão de sua riqueza em nitrogênio, o lodo de esgoto pode se constituir em importante fonte deste nutriente para o cultivo de oleaginosas, podendo apresentar efeito residual em cultivos sucessivos e promover a redução do custo de produção para os agricultores.

Assim, este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito residual da adubação com doses de lodo de esgoto sobre o crescimento, a produtividade e os teores de nutrientes no solo e no tecido foliar de girassol.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de abril a agosto de 2012, no ICA/UFMG, em Montes Claros - MG, latitude 16°51'38" S e longitude 44°55'00" W, em área de Latossolo Vermelho Amarelo, com as seguintes características químicas e físicas da camada de 0-20 e 20-40 cm (TAB. 1):

TABELA 1

Características químicas e físicas do solo utilizado anteriormente ao primeiro cultivo¹.

Atributos do solo	Camadas (cm)			
	0-20	Classe ¹	20-40	Classe ¹
pH em água	7,00	A	5,40	Bx
P-Mehlich (mg kg ⁻¹)	19,10	MB	11,86	M
K (mg dm ⁻³)	509,00	MB	96,00	B
Ca (cmol _c dm ⁻³)	6,40	MB	3,60	B
Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,80	MB	1,30	B
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,00	MBx	0,40	Bx
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	1,36	Bx	4,52	M
SB (cmol _c dm ⁻³)	9,51	MB	5,15	B
t (cmol _c dm ⁻³)	9,51	MB	5,55	B
m (%)	0,00	MBx	7,00	MBx
T (cmol _c dm ⁻³)	10,87	B	9,66	B
V (%)	87,00	MB	53,00	M
Matéria orgânica (dag kg ⁻¹)	3,39	M	2,00	Bx
Areia grossa (dag kg ⁻¹)	6,70	-	4,40	-
Areia fina (dag kg ⁻¹)	23,30	-	25,60	-
Silte (dag kg ⁻¹)	26,00	-	16,00	-
Argila (dag kg ⁻¹)	44,0	-	54,0	-

Fonte: EMBRAPA, 1997.

¹ Classes de fertilidade segundo Alvarez et al. (1999b): A - alto, MA – Muito alto, MB - Muito bom, B – bom, M – médio, Bx – baixo, MBx – muito baixo .

Os dados obtidos neste experimento referem-se a um segundo plantio de girassol (*Helianthus annuus* L.) híbrido simples Hélio 250, realizado após um ano da colheita do 1º cultivo, com o intuito de se avaliar o efeito residual da adubação com lodo de esgoto nas doses de 0; 10; 20 e 30 t ha⁻¹, em base

seca. O semeio foi feito nas mesmas linhas do primeiro plantio, após a incorporação dos restos vegetais do primeiro ciclo. As doses de lodo de esgoto citadas constituíram os tratamentos do primeiro cultivo, que já se encontravam dispostos no delineamento em blocos casualizados, com seis repetições.

O lodo de esgoto desidratado foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto - ETE no município de Montes Claros – MG, operada pela COPASA-MG. A linha de tratamento é composta por tratamento preliminar e reator anaeróbio UASB. O lodo gerado no reator UASB foi centrifugado e desidratado em secadora térmica a 350 °C, durante 30 minutos.

As doses de lodo de esgoto foram baseadas na concentração de nitrogênio disponível neste adubo ($6,0 \text{ kg t}^{-1}$), calculada conforme descrito na Resolução CONAMA 375 (BRASIL, 2006) e na recomendação para suprir a exigência da cultura (60 kg ha^{-1}), indicada pela 5ª Aproximação da Recomendação de Corretivos e Fertilizantes de Minas Gerais. As características químicas do lodo de esgoto estão descritas na (TAB. 2).

TABELA 2

Características químicas do lodo de esgoto e quantidades aplicadas de nutrientes com as diferentes doses.

Lodo de esgoto (t ha ⁻¹)	pH- H ₂ O	CO	Macronutrientes (g kg ⁻¹)						
			N _{total}	N _{disp}	P	K	Ca	Mg	S
	6,64	11,6 2	28,60	6,00	0,77	2,56	2,70	0,27	1,69
Quantidades aplicadas (kg ha ⁻¹)									
10	-	-	286,0	60,0	7,7	25,6	27,0	2,7	16,9
20	-	-	572,0	120,0	15,4	51,2	54,0	5,4	33,8
30	-	-	858,0	180,0	23,1	76,8	81,0	8,1	50,7
Lodo de esgoto (t ha ⁻¹)	Micronutrientes (mg kg ⁻¹)								
	-	-	-	Zn	Fe	Mn	Cu	B	
	-	-	-	531,0	42.034,50	218,00	135,50	10,90	
Quantidades aplicadas (kg ha ⁻¹)									
10	-	-	-	5,31	420,35	2,18	1,36	0,11	
20	-	-	-	10,62	840,69	4,36	2,72	0,22	
30	-	-	-	15,93	1.261,04	6,54	4,08	0,33	

Fonte: TEDESCO *et al.*, 1995.

CO = Carbono orgânico (g kg⁻¹).

N_{disp} = teor de nitrogênio disponível calculado de acordo com a resolução CONAMA 375 (BRASIL, 2006).

As parcelas experimentais foram constituídas por quatro linhas de 3,0 metros de comprimento, com espaçamento entre plantas de 0,3 m e entre as linhas de 0,8 m. A área útil de cada parcela experimental foi constituída pelas duas linhas centrais (20 plantas), desprezando-se 0,5 m de cada extremidade, considerada bordadura.

A abertura de sulcos foi feita manualmente com enxada, até a profundidade de 20 cm. Foram semeadas 3 sementes de girassol a cada 0,3 m e, ao completar 15 dias após a emergência, foi realizado um desbaste deixando-se apenas uma planta. Aos 30 e 60 dias após o plantio foram efetuadas capinas manuais para controle de plantas espontâneas. Durante o ciclo da cultura foi realizada irrigação por aspersão.

No início do florescimento do girassol foram coletadas amostras de folhas do terço superior de 12 plantas, escolhidas aleatoriamente na parcela útil, para análises dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Mn, Fe e B (TEDESCO *et al.*, 1995; MALAVOLTA *et al.*, 1997; OLIVEIRA, 2004).

Ao final do experimento, na fase de colheita R9, quando os capítulos encontravam-se voltados para baixo, foram avaliados na área útil de cada parcela: diâmetro do caule, altura da planta, diâmetro do capítulo e produtividade de grãos. O diâmetro do caule foi avaliado rente ao solo com a utilização de paquímetro digital. A altura da planta foi medida com uma trena desde a superfície do solo até o ápice da planta. O diâmetro do capítulo foi medido por meio de uma fita métrica e a produtividade dos grãos foi estimada por meio do peso dos grãos aferido em balança de precisão, sendo seus valores extrapolados para 1 hectare.

Após a colheita, foram retiradas, entre plantas, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, 8 subamostras de solo por parcela para formarem amostras compostas para análises de matéria orgânica, pH, P, K, Ca, Mg, S, H+Al, Al, Zn, Cu, Mn, Fe e B (TEDESCO *et al.*, 1995; EMBRAPA, 1997) e a realização dos cálculos de soma de bases (SB), CTC efetiva ($CTC_{(t)}$), CTC potencial ($CTC_{(T)}$) e saturação por bases (V).

Foi realizada uma análise exploratória dos dados aplicando-se testes de homogeneidade e normalidade. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância e as doses de lodo de esgoto ajustadas a modelos de regressão testando-se os coeficientes até 10% de probabilidade pelo teste t. Para a comparação das variáveis do primeiro e do segundo cultivos, foram calculados intervalos de confiança das médias, considerando-se o nível de probabilidade de 5% pelo teste t. Foi realizada análise de correlação de Pearson entre diâmetro do capítulo e produtividade. Para análise de variância e correlação de Pearson foi utilizado o software SAEG-2007 e para o ajuste das regressões o software Tablecurve (JANDEL SCIENTIFIC, 1991).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se efeito residual da adubação com lodo de esgoto sobre a produtividade do girassol (TAB. 3), a qual atingiu valor máximo de 1.073,47 kg ha⁻¹ com a dose de 30 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, o que corresponde a 86% da produtividade média brasileira prevista para a safra 2010/2011, conduzida no manejo irrigado e de sequeiro, conforme a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2012). Estes resultados corroboram os obtidos por Martins *et al.* (2003), Barbosa *et al.* (2007) e Zuba Junio (2011), os quais observaram resposta positiva do efeito residual da aplicação de lodo de esgoto no solo sobre a produtividade do milho.

TABELA 3

Equações de regressão ajustadas entre a produtividade (PROD), o diâmetro do caule (DC), a altura da planta (ALT) e o diâmetro do capítulo (DCAP) do girassol e as doses residuais de lodo de esgoto.

VARIÁVEL	EQUAÇÃO	R ²	DL (t ha ⁻¹)	VM	MP
PROD (kg ha ⁻¹)	$Y = 853,05 + 0,244908^{***}X^2$	0,9153	30,00	1.073,47	1.250,00
DC (mm)	$Y = 18,06 + 0,413820^{***}X$	0,9938	30,00	30,48	-
ALT (m)	$Y = 1,42 + 0,055588^{***}X^{0,5}$	0,9672	30,00	1,73	-
DCAP (cm)	$Y = 13,40 + 0,006864^{***}X^2$	0,9729	30,00	19,58	-

Fonte: Do autor.

DL = dose de lodo de esgoto que resultou nos valores máximos da variável.

VM = Valor máximo da variável dentro do intervalo experimental.

MP = Média brasileira prevista de produtividade do girassol (irrigado e sequeiro) para a safra 2010/2011, em kg ha⁻¹.

***Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste t.

Em relação ao diâmetro do caule, à altura da planta e ao diâmetro do capítulo, constatou-se incrementos crescentes com o aumento das doses residuais de lodo de esgoto, dentro do intervalo experimental, com

a aplicação de até 30 t ha⁻¹ (TAB. 3). Destaca-se ainda a correlação positiva e estatisticamente significativa entre o crescimento do capítulo e a produtividade de grãos ($r = 0,94^{**}$). Os resultados obtidos para altura de plantas confirmam aqueles apresentados por Costa *et al.* (2009), que verificaram efeito residual da aplicação do biossólido sobre o crescimento em altura das plantas de milho ao aplicar doses de 75 e 150 kg ha⁻¹. Por outro lado, os mesmos autores não verificaram incrementos significativos no diâmetro caulinar para essas plantas, apesar de terem utilizado doses maiores de lodo de esgoto.

As disponibilidades de P nas profundidades do solo analisadas foram classificadas como muito boa e média (ALVAREZ *et al.*, 1999), não tendo havido efeito residual da adubação com lodo de esgoto sobre os seus teores (TAB. 4). Estes resultados diferem dos apresentados por Silva *et al.* (2006b), que observaram maiores teores desse elemento em relação aos apresentados inicialmente, em cultivos sucessivos de milho, três anos após a aplicação de lodo de esgoto. Ainda consoante esses autores, tal fato pode estar relacionado à baixa mobilidade desse elemento no solo, permanecendo por mais tempo no local de sua aplicação. O efeito residual do lodo de esgoto no incremento dos teores de P no solo também foi relatado por Barbosa *et al.* (2002) e Barbosa *et al.* (2007).

TABELA 4

Equações de regressão ajustadas entre os teores de nutrientes no solo e as doses residuais de lodo de esgoto.

Nutriente	Prof.	Equação	R ²	DL (t ha ⁻¹)	TNS	TMP	Classe ₁
P (mg dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 19,1	-	-	19,10	19,10	MB
	(20-40 cm)	Y = Ym = 9,91	-	-	9,91	9,91	M
K (mg dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 103,0	-	-	103,0	103,0	B
	(20-40 cm)	Y = Ym = 89,54	-	-	89,54	89,54	B
Ca (cmol _c dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 8,07	-	-	8,07	8,07	MB
	(20-40 cm)	Y = 5,83 + 0,208232°X ^{0,5}	0,9591	30,00	6,97	6,97	MB
Mg (cmol _c dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 1,28	-	-	1,28	1,28	B
	(20-40 cm)	Y = 1,11 + 0,029982°X ^{0,5}	0,9098	30,00	1,27	1,27	B
S (mg dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 14,75	-	-	14,75	14,75	MB
	(20-40 cm)	Y = Ym = 25,2	-	-	25,20	25,20	MB
Cu (mg dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 0,98	-	-	0,98	0,98	M
	(20-40 cm)	Y = Ym = 0,84	-	-	0,84	0,84	M
Zn (mg dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 3,0	-	-	3,00	3,00	A
	(20-40 cm)	Y = Ym = 1,8	-	-	1,80	1,80	B
Mn (mg dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 15,5	-	-	15,50	15,50	A
	(20-40 cm)	Y = Ym = 8,4	-	-	8,40	8,40	M
Fe (mg dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 68,7	-	-	68,70	68,70	A
	(20-40 cm)	Y = Ym = 55,5	-	-	55,50	55,50	A
B (mg dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 0,20	-	-	0,20	0,20	Bx
	(20-40 cm)	Y = Ym = 0,10	-	-	0,10	0,10	MBx

Fonte: Do autor.

Nota: DL = dose de lodo de esgoto que resultou na maior concentração de nutriente solo; Prof. = profundidade.

TNS = teor máximo de nutriente no solo.

TMP = Teor no solo com a aplicação da dose de lodo de esgoto que gerou máxima produtividade.

Ym = valor médio.

¹ Classes de fertilidade segundo Alvarez et al. (1999b): A - alto, MB - Muito bom, B - bom, M - médio, Bx - baixo, MBx - muito baixo.

°, * Significativos a 10 e 5 % de probabilidade pelo teste t.

Não houve efeito residual da adubação com lodo de esgoto sobre os teores de potássio no solo (TAB. 4), que apresentaram níveis considerados bons de acordo com Alvarez *et al.* (1999). Estes resultados ratificam aqueles apresentados por Barbosa *et al.* (2002) e Barbosa *et al.* (2007), que não verificaram efeito residual da aplicação do lodo de esgoto sobre os teores de potássio no solo. Por outro lado, Silva *et al.* (2001b) constataram redução nos teores desse elemento no solo até os 484 dias de avaliação. Pelo exposto, em razão da rápida disponibilização desse nutriente no solo, por não integrar a nenhum composto orgânico estável (ERNANI *et al.*, 2007), aliada a uma maior exportação desse nutriente pela cultura do girassol (ZOBIOLE *et al.*, 2010), verificada no aumento da produtividade de grãos, no crescimento das características biométricas (TAB. 3) e nos teores foliares desse elemento (TAB. 8), não é de se esperar, portanto, efeito residual da aplicação desse macronutriente.

O composto de lodo de esgoto não apresentou efeito residual sobre os teores de cálcio na camada de 0-20 cm de profundidade. Contudo, esse foi significativo na camada de 20-40 cm, quando aplicada a dose máxima de 30 t ha⁻¹ (TAB. 4). De acordo com Alvarez *et al.* (1999), os teores nas profundidades estudadas são classificados como muito bons. Diferente dos resultados obtidos no presente trabalho, Zuba Junio (2011) verificou no cultivo de milho efeito residual da aplicação de doses crescentes de composto de lodo de esgoto em todas as profundidades estudadas, até a dose aproximada de 39 t ha⁻¹.

Os teores de magnésio no solo foram influenciados pelo efeito residual das doses de lodo de esgoto na camada de 20-40 cm, quando aplicada a dose máxima de 30 t ha⁻¹ (TAB. 4), não ocorrendo o mesmo para a profundidade de 0-20 cm. O aumento nos teores de magnésio no solo em função do efeito residual também foi constatado por Barbosa *et al.* (2002) e Barbosa *et al.* (2007). Os teores disponíveis deste elemento na presente pesquisa são classificados com bons (ALVAREZ *et al.*, 1999).

Em relação ao enxofre (TAB. 4), não houve efeito residual das doses de lodo aplicadas para os seus teores, sendo classificados como muito bons, em ambas as profundidades avaliadas, segundo Alvarez *et al.* (1999).

Não foram constatados efeitos residuais dos tratamentos com lodo de esgoto, aplicados no primeiro cultivo, em relação aos micronutrientes (TAB. 4). Estes resultados diferem dos apresentados por Oliveira *et al.* (2005), que verificaram efeito residual das doses aplicadas para zinco e que este tendeu a permanecer na camada de 0-20 cm de profundidade. Também, Sukkariyah *et al.* (2005a), observaram que, após 17 anos, mais de 75% do zinco e de 85% do cobre, aplicados via lodo de esgoto, permaneciam na camada de incorporação. Dentre os micronutrientes avaliados no presente trabalho, apenas o boro apresentou teores classificados como baixos e muito baixos (ALVAREZ *et al.*, 1999) nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, respectivamente (TAB. 4). Tal fato pode ser explicado em razão da baixa quantidade deste elemento transportada ao solo através da adubação com lodo de esgoto no primeiro plantio, igual a 1/3 da quantidade recomendada para o cultivo do girassol (TAB. 2).

Em relação aos teores de matéria orgânica, o efeito residual do lodo de esgoto no solo não foi verificado em nenhuma das camadas avaliadas, sendo classificados como médios de acordo com ALVAREZ *et al.* (1999) (TAB. 5). Antolin *et al.* (2005) verificaram que, um ano após a aplicação de lodo de esgoto, parcelas que receberam o resíduo apresentaram teor de matéria orgânica semelhante àquelas não adubadas, em função de uma rápida mineralização da matéria orgânica, o que é corroborado pelos resultados obtidos neste trabalho. Todavia, Barbosa *et al.* (2007) relatam aumento residual da matéria orgânica do solo com a aplicação de lodo de esgoto.

No que se refere ao pH do solo (TAB. 5), houve efeito residual da adubação com lodo de esgoto para a variável analisada na camada de 20-40 cm de profundidade, apresentando valor classificado como muito alto (ALVAREZ *et al.*, 1999), correspondendo a 7,3 na dose de 30 t ha⁻¹. Estes resultados confirmam os obtidos por Barbosa *et al.* (2002) e Barbosa *et al.* (2007), que constataram que o efeito residual da aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto promoveu aumento do pH do solo. Por outro lado, Antolin *et al.* (2005) e Caldeira Junior *et al.* (2009) verificaram que doses de até 30 t ha⁻¹ reduziram os valores dessa variável, o que pode estar

associado à produção de ácidos orgânicos durante a degradação dos resíduos pelos microrganismos. O aumento do pH do solo, devido à aplicação do lodo de esgoto, observado em alguns trabalhos, pode ser resultado da alcalinidade dos materiais utilizados em processos de eliminação de patógenos e estabilização do lodo (NASCIMENTO *et al.*, 2004). No presente trabalho, deve-se levar em consideração que os valores de pH classificados como muito altos nas duas camadas avaliadas pode estar relacionado à utilização de água calcária para irrigação deste experimento, que apresentava as seguintes características: pH = 7,6; condutividade elétrica = 468 $\mu\text{S cm}^{-1}$ e dureza total e $\text{CaCO}_3 = 222 \text{ mg L}^{-1}$.

TABELA 5

Equações de regressão relacionando os atributos químicos e índices de fertilidade com o efeito residual das doses de composto de lodo de esgoto aplicadas ao solo.

Variável	Prof.	Equação	R ²	DL (t ha ⁻¹)	TNS	TMP	Classe ¹
MO (%)	(0-20 cm)	Y = Ym = 2,6	-	-	2,6	2,6	M
	(20-40 cm)	Y = Ym = 2,2	-	-	2,2	2,2	M
pH	(0-20 cm)	Y = Ym = 7,7	-	-	7,7	7,7	MA
	(20-40 cm)	Y = 6,69+ 0,02016°X	0,9120	30,00	7,3	7,3	MA
SB (cmol _c dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 9,8	-	-	9,8	9,8	MB
	(20-40 cm)	Y = 7,48+ 0,04335°X	0,8308	30,00	8,7	8,7	MB
CTC _(t) (cmol _c dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 9,8	-	-	9,8	9,8	MB
	(20-40 cm)	Y = 7,59+ 0,03885°X	-	30,00	8,7	8,7	MB
CTC _(T) (cmol _c dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 9,9	-	-	9,9	9,9	B
	(20-40 cm)	Y = 8,73+ 0,098234°X ^{0,5}	0,9040	30,00	9,3	9,3	B
V %	(0-20 cm)	Y = 98,04+ 0,981735°X ^{0,5} - 0,150834°X	0,7340	10,59	99,6	98,9	MB
	(20-40 cm)	Y = 84,59+ 0,32668°X	0,8307	30,00	94,4	94,4	MB
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = Ym = 0,00	-	-	0,00	0,00	MBx
	(20-40 cm)	Y = Ym = 0,04	-	-	0,04	0,04	MBx
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	(0-20 cm)	Y = 0,18- 0,095826°X ^{0,5} + 0,014821°X	0,7433	0,00	0,18	0,10	MBx
	(20-40 cm)	Y = 1,42- 0,154044°X ^{0,5}	0,9756	0,00	1,42	0,58	MBx

Fonte: Do autor.

Nota: DL = dose de lodo de esgoto para atingir o maior valor da variável no solo.

TNS = Valor máximo no solo.

TMP = Valor no solo com a aplicação da dose de lodo de esgoto que gerou a máxima produtividade.

Ym = valor médio; Prof. = profundidade.

¹ Classes de fertilidade segundo Alvarez et al. (1999b): A - alto, MA- Muito alto, MB - Muito bom, B – bom, M – médio, Bx – baixo, MBx – muito baixo .

°, * Significativos a 10 e 5 % de probabilidade pelo teste t.

O efeito residual da aplicação de lodo de esgoto é verificado para SB, CTC_(t) e CTC_(T) apenas na camada de 20-40 cm de profundidade, sendo que essas variáveis apresentaram classes de fertilidade variando de níveis bons a muito bons (ALVAREZ *et al.*, 1999) em ambas as profundidades examinadas (TAB. 5). De acordo com Barbosa *et al.* (2007), o lodo de esgoto promove o aumento de cargas negativas do solo devido à sua alta concentração em matéria orgânica, além de enriquecer o meio principalmente com Ca e Mg, fato que contribui, para o aumento da CTC do solo.

Os tratamentos com lodo de esgoto apresentaram efeito residual sobre V% nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade (TAB. 5) e estas se enquadraram em classes de fertilidade consideradas muito boas (ALVAREZ *et al.*, 1999). Estes resultados na menor profundidade corroboram os de Barbosa *et al.* (2007), que verificaram na camada de 0-20 cm efeito residual da aplicação de lodo de esgoto no aumento da saturação por bases, em razão do fornecimento de Ca e Mg pela matéria orgânica.

Em relação a H+Al, foi constatado influência residual do lodo de esgoto nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade (TAB. 5), no entanto, estas se enquadraram em classes consideradas muito baixas segundo Alvarez *et al.* (1999). Para o alumínio não foram constatados efeitos residuais em nenhuma das profundidades avaliadas.

Os teores dos macronutrientes na folha do girassol não foram influenciados pelo efeito residual dos tratamentos com lodo de esgoto aplicado no primeiro cultivo, sendo que o Mg e o S ficaram abaixo da faixa de suficiência de nutrientes na planta (TAB. 6). De acordo com Zuba Junio (2011), os efeitos residuais dos tratamentos com lodo de esgoto influenciam os teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio, após um ano de sua aplicação no solo e duas safras consecutivas de milho. Estes resultados se assemelham aos obtidos por Silva *et al.* (2002b), que verificaram efeito residual do lodo sobre o aumento dos teores foliares de macronutrientes na cultura do milho. Ainda segundo esses autores, os elementos magnésio e enxofre apresentaram valores inferiores aos suficientes para suprir a demanda nutricional da cultura, o que ratifica os resultados obtidos no presente experimento.

TABELA 6

Equações de regressão ajustadas entre os teores de nutrientes na folha de girassol e as doses residuais de lodo de esgoto.

Nutriente	EQUAÇÃO	R ²	DL (t ha ⁻¹)	TNP	TMP	FS ¹	FS ²
N (dag kg ⁻¹)	Y = Ym = 4,24	-	-	4,24	4,24	3,3 – 3,5	-
P (dag kg ⁻¹)	Y = Ym = 0,40	-	-	0,40	0,40	0,4 – 0,7	-
K (dag kg ⁻¹)	Y = Ym = 3,20	-	-	3,20	3,20	2,0 – 2,4	-
Ca (dag kg ⁻¹)	Y = Ym = 2,81	-	-	2,81	2,81	1,7 – 2,2	-
Mg (dag kg ⁻¹)	Y = Ym = 0,36	-	-	0,36	0,36	0,9 – 1,1	-
S (dag kg ⁻¹)	Y = Ym = 0,30	-	-	0,30	0,30	0,5 – 0,7	-
Zn (mg kg ⁻¹)	Y = Ym = 72,25	-	-	72,25	72,25	-	30 – 80
Cu (mg kg ⁻¹)	Y = Ym = 33,50	-	-	33,50	33,50	-	25 – 100
Mn (mg kg ⁻¹)	Y = 53,81- 6,828164*X ^{0,5} + 1,129781°X	0,9977	0,00	53,81	50,30	-	10 – 20
Fe (mg kg ⁻¹)	Y = 418,07- 34,477339*X ^{0,5} + 5,881819°X	0,9989	0,00	418,07	405,68	-	80 – 120
B (mg kg ⁻¹)	Y = Ym = 35,70	-	-	35,70	35,70	-	35 – 100

Fonte: Do autor.

DL = dose de lodo de esgoto que resultou na maior concentração de nutriente na planta.

TNP = teor máximo de nutriente na planta.

TMP = Teor na planta com a aplicação da dose de lodo de esgoto que gerou máxima produtividade.

¹ Faixa de suficiência de nutrientes na planta, de acordo com Malavolta et al. (1997).

² Faixa de suficiência de nutrientes na planta, de acordo com Oliveira (2004).

°* Significativos a 10 e 5 % de probabilidade pelo teste t.

Na TAB. 6, observa-se que os teores de micronutrientes na folha de girassol não foram influenciados pelo efeito residual da aplicação do lodo de esgoto, exceto para manganês e ferro, que diminuíram com o incremento das doses. Verifica-se também que os teores dos micronutrientes avaliados ficaram dentro da faixa de suficiência de nutrientes para o girassol. Tais resultados diferem dos apresentados por Zuba Junio (2011), que verificou

aumento nos teores de zinco na planta de milho com o incremento da adubação residual com lodo de esgoto de até 63,62 t ha⁻¹, sendo este efeito também constatado em outras dosagens por Gomes *et al.* (2007) e Martins *et al.* (2003). Ainda conforme Zuba Junio (2011), não houve efeito residual dos tratamentos com lodo de esgoto para os teores de cobre na planta, o que corrobora os resultados obtidos neste trabalho. De acordo com Abreu *et al.* (2007), o cobre forma complexo estável com a matéria orgânica, fazendo com que somente uma pequena fração desse elemento fique disponível à cultura.

Observou-se que a produtividade do girassol no segundo cultivo correspondeu a 71% da produção alcançada no primeiro cultivo e que as características biométricas também apresentaram uma redução em seus valores (TAB. 7). Estes resultados de produtividade de grãos aproximam dos apresentados por Lemainski e Silva (2006), os quais verificaram que as doses de 30 e 45 t ha⁻¹ proporcionaram produtividades respectivas de 77 e 80% das obtidas no primeiro ciclo. No presente trabalho, a redução da produtividade e dos valores das características biométricas pode estar relacionada aos teores de matéria orgânica e enxofre do solo, que diminuíram razoavelmente do primeiro para o segundo plantio, além, dos baixos teores de boro em ambos os ciclos. Apesar da redução, a matéria orgânica manteve seus teores classificados como médios (ALVAREZ *et al.*, 1999). Deve-se ressaltar que, apesar de não haver diferença estatística entre as médias de fósforo e potássio do primeiro para o segundo ciclo, a redução contribuiu para uma mudança na classificação agrônômica (ALVAREZ *et al.*, 1999) na camada de 20-40 cm para o elemento fósforo, que passou de bom para médio e, na profundidade 0-20 cm para o potássio, que passou de muito bom para bom. Dessa forma, recomendam-se, a cada cultivo, novas adubações com lodo de esgoto.

TABELA 7

Intervalos de confiança das médias de produtividade, características biométricas, atributos químicos, índices de fertilidade e teores de nutrientes no solo nos dois cultivos sucessivos.

Variável	1° plantio ¹		2° plantio ²	
	Média	IC'	Média	IC'
PROD (kg ha ⁻¹)	1.321,31	±36,12	938,51	±21,12
DC(mm)	27,54	±1,05	24,32	±0,84
ALT(m)	1,79	±0,04	1,61	±0,02
DCAP(cm)	17,51	±0,91	15,82	±0,72
MO % (0-20 cm)	3,18	±0,39	2,62	±0,21
MO % (20-40 cm)	2,12	±0,21	2,21	±0,32
pH(0-20 cm)	6,91	±0,25	7,71	±0,15
pH (20-40 cm)	6,72	±0,29	6,92	±0,41
SB(cmolc dm ⁻³) (0-20 cm)	9,81	±0,92	9,81	±0,42
SB (cmolc dm ⁻³) (20-40 cm)	6,63	±1,16	8,11	±0,82
CTC _(t) (cmolc dm ⁻³)(0-20 cm)	9,82	±0,89	9,82	±0,41
CTC _(t) (cmolc dm ⁻³)(20-40 cm)	6,61	±1,11	8,21	±0,83
CTC _(T) (cmolc dm ⁻³)(0-20 cm)	10,72	±0,88	9,92	±0,41
CTC _(T) (cmolc dm ⁻³) (20-40 cm)	8,62	±0,73	9,05	±0,41
V % (0-20 cm)	91,45	±3,52	99,00	±0,92
V % (20-40 cm)	75,83	±8,83	86,51	±10,32
AI (cmolc dm ⁻³) (0-20 cm)	*	*	*	*
AI (cmolc dm ⁻³) (20-40 cm)	0,03	±0,06	0,04	±0,07
H+AI (cmolc dm ⁻³) (0-20 cm)	0,92	±0,31	0,09	±0,09
H+AI (cmolc dm ⁻³) (20-40 cm)	2,12	±0,62	0,92	±0,51
P(mg dm ⁻³) (0-20 cm)	29,03	±17,68	19,13	±7,08
P(mg dm ⁻³) (20-40 cm)	16,92	±17,29	9,91	±7,42
K (mg dm ⁻³) (0-20 cm)	142,25	±56,59	103,00	±21,73
K (mg dm ⁻³) (20-40 cm)	93,25	±42,56	89,54	±35,62
Ca (cmol _c dm ⁻³) (0-20 cm)	7,88	±0,71	8,07	±0,36
Ca (cmol _c dm ⁻³) (20-40 cm)	5,32	±1,34	6,52	±0,73
Mg(cmol _c dm ⁻³)(0-20 cm)	1,47	±0,18	1,28	±0,07
Mg (cmol _c dm ⁻³)(20-40 cm)	1,21	±0,14	1,21	±0,12
S (mg dm ⁻³) (0-20 cm)	32,92	±12,64	14,75	±3,03
S (mg dm ⁻³) (20-40 cm)	36,47	±10,43	25,21	±7,64
Cu (mg dm ⁻³)(0-20 cm)	0,98	±0,24	0,98	±0,23
Cu(mg dm ⁻³)(20-40 cm)	0,76	±0,27	0,84	±0,22
Zn(mg dm ⁻³) (0-20 cm)	4,77	±3,09	3,01	±1,32

Zn(mg dm ⁻³) (20-40 cm)	1,76	±1,83	1,82	±1,31
Mn (mg dm ⁻³) (0-20 cm)	16,36	±3,27	15,53	±2,72
Mn (mg dm ⁻³) (20-40 cm)	5,77	±2,92	8,42	±3,52
Fe (mg dm ⁻³) (0-20 cm)	75,62	±17,61	68,72	±21,02
Fe (mg dm ⁻³) (20-40 cm)	60,64	±11,72	55,53	±20,12
B (mg dm ⁻³)(0-20 cm)	0,22	±0,08	0,20	±0,05
B (mg dm ⁻³) (20-40 cm)	0,11	±0,04	0,10	±0,05

Fonte: Do autor.

Nota:Intervalo de confiança da média a 5% de probabilidade pelo teste t; * Não detectado; Ciclo da cultura: 120 dias.

¹ realizado no mês de abril de 2011.

² realizado no mês de abril de 2012.

Conforme apresentado na tabela 8, os teores foliares de macronutrientes permaneceram dentro da faixa de suficiência para esta cultura (MALAVOLTA *et al.*, 1997), exceto Mg e S, podendo este fato ter sido uma limitação para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Convém destacar que os teores foliares de K foram maiores no segundo cultivo em relação ao primeiro.

No que se refere aos teores foliares de micronutrientes (TAB. 8), observou-se aumento nos teores de Cu e Zn no segundo ciclo, sendo o valor referente ao Cu, classificado dentro faixa nutricional adequada para esta cultura (OLIVEIRA, 2009), situação esta não verificada no primeiro cultivo. De acordo com Abreu *et al.* (2007), o Cu forma complexo estável com a matéria orgânica, ficando disponível para as plantas apenas uma pequena fração. Os teores foliares de Fe se apresentaram menores no segundo cultivo (TAB. 8), podendo tal fato ser atribuído à insolubilização desse elemento em pH próximo à alcalinidade e ao poder complexante da matéria orgânica que reduz a disponibilidade desse nutriente para as plantas (CUNHA *et al.*, 2011). Os teores foliares de B também foram reduzidos em relação ao primeiro ciclo, o que pode estar relacionado à baixa concentração deste nutriente no lodo de esgoto aplicado ao solo.

TABELA 8

Intervalos de confiança das médias de nutrientes na folha de girassol, nos dois cultivos sucessivos.

Variável	1° plantio ¹		2° plantio ²	
	Média	IC'	Média	IC'
N- folha(dag kg ⁻¹)	4,54	±0,33	4,24	±0,44
P-folha (dag kg ⁻¹)	0,57	±0,11	0,41	±0,05
K-folha(dag kg ⁻¹)	2,52	±0,27	3,21	±0,13
Ca-folha (dag kg ⁻¹)	3,17	±0,2	2,81	±0,24
Mg-folha (dag kg ⁻¹)	0,42	±0,03	0,36	±0,04
S-folha(dag kg ⁻¹)	0,33	±0,05	0,31	±0,04
Zn-folha (mg kg ⁻¹)	44,12	±3,71	72,25	±13,3
Cu-folha (mg kg ⁻¹)	17,82	±1,89	33,5	±10,12
Mn-folha (mg kg ⁻¹)	38,00	±6,05	48,41	±7,02
Fe-folha (mg kg ⁻¹)	558,00	±76,71	393,32	±31,95
B-folha (mg kg ⁻¹)	51,40	±6,51	35,73	±4,81

Fonte: Do autor.

Nota:Intervalo de confiança da média a 5% de probabilidade pelo teste t;

Ciclo da cultura: 120 dias.

¹ realizado no mês de abril de 2011.

² realizado no mês de abril de 2012.

4 CONCLUSÃO

O diâmetro do caule, a altura da planta, o diâmetro do capítulo e a produtividade do girassol aumentam com o incremento de lodo de esgoto, sendo os valores máximos observados na dose de 30 t ha^{-1} .

Os teores de matéria orgânica e de nutrientes no solo, exceto cálcio e magnésio, não são influenciados pelo efeito residual da adubação com lodo de esgoto.

Os teores de cálcio e magnésio, o pH, a SB, a $\text{CTC}_{(t)}$, a $\text{CTC}_{(T)}$ e a V% aumentam, enquanto o H+Al diminui, com o incremento das doses residuais de lodo de esgoto.

Os teores foliares de nutrientes não são influenciados pelo efeito residual dos tratamentos com lodo de esgoto, exceto para manganês e ferro, que diminuem com o incremento das doses residuais de lodo de esgoto.

A produtividade e as características de crescimento do girassol são menores no segundo cultivo, recomendando-se novas adubações com lodo de esgoto a cada plantio.

REFERÊNCIAS

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. v. 1, p. 645-736.

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Leito de drenagem: sistema natural para a redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.13, n.1, jan./mar. 2008.

ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO A. C.; GUIMARÃES P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Orgs.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG, 1999. Cap. 5, p. 25-32.

ALVES, M. C.; SANCHES, L. G. A.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um latossolo vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.31, n.4, p. 617-625, 2007.

ANDRADE, C. A.; MATTIAZZO, M. E. Nitratos e metais pesados no solo após a aplicação de biossólido (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Florestalis**, v. 58, p. 59-72, 2000.

ANDREOLI, C. V.; FERENANDES, F.; DOMASZAK, S. C. **Reciclagem agrícola do lodo de esgoto**: estudo preliminar para definição de critérios para uso agrônomo e de parâmetros para normatização ambiental e sanitária. Curitiba: SANEPAR, 1999. 82 p.

ANTOLIN, M. C.; PASCUAL, I.; GARCIA, C.; POLO, A.; DÍAZ, M. S. Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions. **Field Crops Research**, v. 94, n. 2/3, p. 224-237, Nov. 2005.

BACKES, C.; LIMA, C. P.; FERNANDES, D. M.; GODOY, L. J. G.; KIIHL, T. A. M.; VILLAS BÔAS, R. L. Efeito do lodo de esgoto e nitrogênio na nutrição e desenvolvimento inicial da mamoneira. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n.1, p. 90-98, 2009.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; FONSECA, I. C. B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 601-605, 2007.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Eutroférico após aplicação por

dois anos consecutivos de lodo de esgoto. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p.1501-1505, 2002.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312 p.

BETTIOL, W.; CAMARGO, A. O. **Lodo de esgoto**: impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349 p.

BIO. O Brasil que os presidenciáveis precisam ver. **Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente**, v. 11, n. 21, p. 12-25, 2002.

BIONDI, C. M.; NASCIMENTO, C. W. A. Acúmulo de nitrogênio e produção de matéria seca de plantas em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 18, n. 2, p. 123-128, abr./jun. 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 ago. 2006. Disponível em: <www.fundagresorg.br/biossolido/images/downloads/res_conama37506>.

CALDEIRA JÚNIOR, C. F.; SOUZA, R. A.; SANTOS, A. M.; SAMPAIO, R. A.; MARTINS, E. R.. Características químicas do solo e crescimento de *Astronium fraxinifolium Schott* em área degradada adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio. **Revista Ceres**, v. 56, n. 1, p. 213-218, 2009.

CASTRO, A. M. G.; LIMA, S. M. V.; SILVA, J. F. V. **Complexo Agroindustrial de Biodiesel no Brasil**: Competitividade das Cadeias Produtivas de Matérias-Primas. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2010.

CASTRO, C.; CASTIGLIONI, V. B. R.; BALLA, A.; LEITE, R. M. V.; KARAM, D.; MELLO, H. C.; GUEDES, L. C. A.; FARIAS, J. R. B **A cultura do girassol**. Londrina: Embrapa-CNPSo, 1997. 36 p. (Circular Técnica, 13).

CASTRO, C.; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol. In: LEITE, R. M. V .B; BRIGHENTI, A. M; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2005. p.163-218.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J. A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 317-326, mar./abr. 2004.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS (COPASA-MG). **Esgotamento sanitário**. Disponível em: <<http://www.copasa.com.br>>. Acesso em: 10 jan.2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Banco de dados agregados**. 2012. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 28 jan.2012.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. CFSEMG. **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

CORRÊA, R. S.; WHITE, R. E.; WEATHERLEY, A. J. Modeling the risk of nitrate leaching from two soils amended with five different biosolids. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 619-626, jul./ago. 2005.

COSTA, F. X.; LIMA, V. L. A.; BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, C. A. V.; SOARES, F. A. L.; ALVA, L. D. M. Efeitos residuais da aplicação de biossólidos e da irrigação com água residuária no crescimento do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.6, p. 687–693, 2009.

CUNHA, E.; STONE, L. F.; DIDONEL, A. G.; FERREIRA, E. P. B.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo e por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.1021-1029, 2011.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto: II., fertilidade do solo e nutrição da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 653-662, mar./abr. 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212 p.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 551-594.

FAO.FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2011. **Banco de dados**. Disponível em <http://faostat.fao.org>. Acesso em: 26 set.2011.

FERNANDES, F.; WEIGERT, W.; ANDREOLI, C. V. Gestão e controles operacionais aplicados à reciclagem agrícola de biossólidos na região metropolitana de Curitiba. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE BIODIVERSIDADE, 1., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2003.

FIGUEIREDO, T. L.; GRASSI FILHO, H. Níveis de lodo de esgoto na produtividade do girassol. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal**, 2007, v.7, n.3, p.16-25.

GALDOS, M. V.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 569-577, maio./jun. 2004.

GARBOSSA, L. H. P. **Avaliação de sistemas anaeróbio-aeróbio com biomassa imobilizada para remoção de matéria carbonácea e nitrogênio de esgoto sanitário e uso de biogás na desnitrificação**. 2006. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

GAZZONI, D. L. Óleo de girassol como matéria-prima para biocombustíveis. In: LEITE, R. M.; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2005. p.145-161.

GUIMARÃES, A. S; SANTOS, N. R; BELTRÃO, N.E.M. Fontes e doses crescentes de adubos orgânicos e mineral no crescimento inicial de pinhão manso. **Means agítat**, Boa vista, v.4, n.1, p.17-22, 2009.

GODOI, E. L.; BORGES, J. D.; XIMENES, P. A.; LEANDRO, W. M. Produtividade de *Stylosantes guianensis* cv. mineirão em resposta ao efeito residual de biossólido em área degradada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, n.3, p. 158-163, 2008.

GOMES, S. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M.; ACCIOLY, A. M. A. Distribuição de metais pesados em plantas de milho cultivadas em argissolo tratado com lodo de esgoto. **Revista Ciência Rural**, v. 36, n. 6, p. 1689-1695, nov./dez. 2006.

GOMES, S. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 459-465, out. 2007.

JANDEL SCIENTIFIC. **Tablecurve**: curve fitting software. Corte Madeira, CA: jandel scientific, 1991. 280p.

LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 641 p.

LEITE, R. A.; PAULA JÚNIOR, T. J.; VENZON, M. Girassol. In: PAULA JÚNIOR, T. J.; VENZON, M. (Ed.). **101 culturas**: manual de tecnologias agrícolas. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. p.397-404.

LEMAINSKI, J.; SILVA, J. E. Avaliação agronômica e econômica da aplicação de biossólido na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 10, p. 1477-1484, out. 2006b.

LEMAINSKI, J.; SILVA, J. E. Utilização do biossólido da CAESB na produção

de milho no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 30, n. 4, p. 741-750, ago. 2006a.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H. Sewage sludge levels on the development and nutrition of sunflower plants. **Revista Ciencia del Suelo e Nutrición Vegetal**, Temuco, v. 9, n. 3, p. 245-255, 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARTINS, A. L. C.; BATAGLIA, O. C.; CANTARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 563-574, maio./jun. 2003.

MARCHETTI, M. E.; MONTOMYA, W. R.; FABRÍCIO, A. C.; NOVELINO, J. O. Resposta do girassol, *Helianthus annuus*, a fontes e níveis de boro. **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 5, p.1107-1110, 2001.

MELO, V. P.; BEUTLER, A. N.; SOUZA, Z. M.; CENTURION, J. F.; MELO, W. J. Atributos físicos de latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n.1, p. 67-72, 2004.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F. (Ed) **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007. v.1, cap.2, p.65-90.

MODESTO, P. T.; SCAROPA, M. H.; HELENA, M.; GILBERTO, C.; MALTONI, C. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Alterações em algumas propriedades de um latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.33, n.5, p.1489-1498, 2009.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 385-392, mar./abr. 2004.

NASCIMENTO, A. L.; SAMPAIO, R. A.; BRANDÃO, D. S.; ZUBA JUNIO, Z. R.; FERNANDES, L. A. Crescimento e produtividade de mamona tratada com lodo de esgoto. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n.4, p.145-151, out./dez. 2011.

NASCIMENTO, A.L. **Produtividade, nutrição mineral e teores de metais pesados no solo e em girassol adubado com lodo de esgoto**. 2012. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros: ICA/UFMG, 2012.

NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; CORREIA, K. G.; SOARES, F. A. L.; ANDRADE, L. O. Crescimento e floração do girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agrônômica**, v.41, n.3, p.358-367, jul./set. 2010.

NOGUEIRA, T. A. R.; SAMPAIO, R. A.; FERREIRA, C. S.; FONSECA, I. M. Produtividade de milho e de feijão consorciados adubados com diferentes formas de lodo de esgoto. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.6, n.1, p.122-131, 2006.

OLIVEIRA, J. P. B.; LOPES, J. C.; ALEXANDRE, R. S.; JASPER, A. P. S.; SANTOS, L. N. S.; OLIVEIRA, L. B. Concentração de metais pesados em plantas de maracujá doce cultivadas em dois solos tratados com lodo de esgoto. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 217-223, maio./ago. 2009.

OLIVEIRA, K. W.; MELO, W. J.; PEREIRA, G. T.; MELO, V. P.; MELO, G. M. P. Heavy metals in oxisols amended with biosolids and cropped with maize in a long-term experiment. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 4, p. 381-388, jul./ago. 2005.

OLIVEIRA, S. A. Análise foliar. In: SOUZA, D. M. G.; LOBADO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. cap. 10, p. 245-255.

PEDROZA, J. P.; HAENDEL, A. C.; BELTRÃO, N. E. M.; DIONÍSIO, J. A. Produção e componentes do algodoeiro herbáceo em função da aplicação de biossólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 483-488, set./dez. 2003.

PRADO, R. M.; LEAL, R. M. Desordens nutricionais por deficiência em girassol var. Catissol-01. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 3, p. 187-193, set./dez. 2006.

PRATES, F. B. S. **Crescimento, desenvolvimento e nutrição de pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio**. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros: ICA/UFMG, 2010.

PRATES, F. B. S.; SAMPAIO, R. A.; SILVA, W. J.; FERNANDES, L. A.; ZUBA JUNIO, Z. R.; SATURNINO, H. M. Crescimento e teores de macronutrientes em pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 101-112, abr./jun. 2011.

ROSSI, R. O. **Girassol**. Curitiba: Tecnoagro, 1998. 333 p.

SAEG. **SAEG**: sistema para análises estatísticas, versão 9.1. Viçosa: UFV, 2007.

SILVA, J. E.; RESCK D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agronômica para o bio sólido produzido no Distrito Federal. I. Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 487-495, 2002a.

SILVA, J. E.; RESCK D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agronômica para o bio sólido produzido no Distrito Federal. II. Aspectos qualitativos, econômicos e práticos de seu uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 497- 503, 2002b.

SILVA, C. D.; COSTA, L. M.; MATOS, A. T.; CECON, P. R.; SILVA, D. D. Vermicompostagem de lodo de esgoto urbano e bagaço de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 487-491, set./dez. 2002.

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A.; MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: Nutrientes, metais pesados e produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1-8, 1998.

SILVA, F. C.; BOARETO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A.; BERNARDES, E.M. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um argissolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 831-840, maio. 2001b.

SILVA, C. A.; RANGEL, O. J. P.; DYNIA, J. F.; BETTIOL, W.; MANZATTO, C. V. Disponibilidade de metais pesados para milho cultivado em latossolo sucessivamente tratado com lodos de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 353-364, mar./abr. 2006.

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. C.; ANDRADE, C. A.; TEIXEIRA, C. F. A. Efeito do lodo de esgoto em um argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1187-195, out. 2003.

SOUZA, A. de; OLIVEIRA, M. F. de; CASTIGLIONI, V. B. R. O boro na cultura do girassol. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 25, n.1, p.27-34, 2004.

SUKKARIYAH, B. F.; EVANYLO, G.; ZELAZNY, L.; CHANEY, R. L. Recovery and distribution of biosolids-derived trace metals in a clay loam soil. **Journal of Environmental Quality**, v. 34, 5, p. 1843-1850, Sep./Oct. 2005a.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHMEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos/UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C.; MELFI, J. A.; MELO, W. J.; MAEQUES, M.O.

Biossólidos na agricultura. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 2002. 468 p.

TORRES NETTO, A.;CAMPOSTRINI, E.; GOMES, M. M. A. Efeitos do confinamento radicular nas medidas biométricas e assimilação de CO₂ em plantas de *coffea canephora* Pierre. **Revista brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.12, n.3, p.295-303, 2006.

UNGARO, M. R. G. **Cultura do girassol.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2000. 36 p.

UNGARO, M. R. G. **Armazenamento do grão, óleo e torta de girassol visando a indústria alimentícia e de biodiesel.** Instituto Agrônômico de Campinas, 2008. Disponível em: <http://sigcti.mct.gov.br>. Acesso em: 17 jul.2011.

VIEIRA, R. F.; TANAKA, R.T.; TSAI, S. M.; PÉREZ, D. V.; SILVA, C. M. M. Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 9, p. 919-926, set. 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: UFMG, 1995, 240 p.

ZOBIOLE, L. H. S.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 425-433, mar./abr. 2010.

ZOBIOLE, L. H. S.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; JÚNIOR, A. O.; MOREIRA, A. Sunflower micronutrient uptake curves. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 346-353, mar./abr. 2011.

ZUBA JUNIO, G. R. **Produtividade, nutrição mineral e teores de metais pesados em milho adubado com fosfato natural e com composto de lodo de esgoto.** 2011. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros: ICA/UFMG,2011.

ZUBA JUNIO, G. R.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; LIMA, N. N.; FERNANDES, L. A. Crescimento inicial de mamoneira adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio.**Revista Caatinga**, Mossoró, v.24, n.4, p.157-163, out-dez.,2011.